

영상 처리 방법을 이용한 구조물의 큰 변위 저주파 진동 계측

Measurement of Large-amplitude and Low-frequency Vibrations of Structures Using the Image Processing Method

김 기 영* · 궤 문 규†

Ki-Young Kim and Moon K. Kwak

(2004년 12월 11일 접수 : 2005년 2월 21일 심사완료)

Key Words : Low-frequency Vibration Measurement(저주파수 진동계측), Large Amplitude(큰 변위), Image Processing Method(영상처리방법)

ABSTRACT

This paper is concerned with the measurement of low-frequency vibrations of structures using the image processing method. To measure the vibrations visually, the measurement system consists of a camera, an image grabber board, and a computer. The specific target installed on the structure is used to calculate the vibration of structure. The captured image is then converted into a pixel-based data and then analyzed numerically. The limitation of the system depends on the image capturing speed and the size of image. In this paper, we propose the methodology for the vibration measurement using the image processing method. The method enables us to measure the displacement directly without any contact. The current resolution of the vibration measurement is limited to sub centimeter scale. However, the frequency bandwidth and resolution can be enhanced by a high-speed and high-resolution image processing system.

1. 서 론

진동 계측에 사용되는 방법으로는 가속도계, 스트레인 게이지, 지진계 등과 같이 구조물에 감지기를 부착하여 진동을 계측하는 접촉식 방법⁽¹⁾과 레이저의 도플러 효과를 이용하는 비접촉식 방법⁽²⁾ 등이 있다. 저주파수로 진동하는 지진이나 대형 구조물의 진동의 경우는 지진계나 가속도계를 사용하여 진동을 계측하게 되는데, 감지기의 설치 및 계측에 많은 시간이 소요된다. 레이저 진동계측 장비를 사용하면 매우 정밀한 계측을 수행할 수 있으나 고가이기 때문에 쉽게

사용할 수 있는 장비는 아니다. 이 연구에서는 다리, 송전탑, 고층 건물과 같은 대형 구조물이 큰 변위를 가지고 진동하는 경우에는 영상 처리방법을 이용해 진동변위를 추출하는 방법을 제시하고자 한다. 다리와 같은 대형 구조물의 큰 변위 진동 계측을 위해서는 GPS 신호를 이용하는 방법⁽³⁾이 제시되기도 했지만 GPS 신호 자체의 오차와 계측 주파수의 제약으로 인해 실용화되지는 않고 있다.

이 연구에서는 진동하는 물체를 영상 처리하여 진동 변위 응답을 측정하는 방법을 제시하고자 영상 카메라와 PC를 이용하여 시스템을 구축하였다. 영상 처리를 이용해 진동을 계측하는 방법에 대해서는 이와 궤의 연구⁽⁴⁾에서 처음 시도되었다. Wahbeh, Caffrey and Masri⁽⁵⁾도 영상 데이터에 기초한 진동 변위 측정 방법을 제안하였는데 LED를 표시물로 사용하는 방법을 제안하였다. 이 연구에서는 이와 궤의 연구⁽⁴⁾에서 제시한 방법을 개선하여 보다 정밀한 고

† 책임저자 : 정희원, 동국대학교 기계공학과

E-mail : kwakm@dgu.ac.kr

Tel : (02) 2260-3705, Fax : (02) 2263-9379

* 정희원, 동국대학교 기계공학과

속의 계산 알고리즘을 제시하였다. 또한 GUI 환경을 구축하여 실시간으로 진동계측을 수행할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다.

영상 처리의 응용 분야는 영화의 특수 효과, 얼굴이나 지문 인식을 통한 보안, 공장 자동화 시스템, 의학, 로봇 등과 같은 분야이다. 영상 처리에 일반적으로 사용되는 카메라와 Image Grabber는 NTSC 규약에 맞추어서 초당 30 frame으로 이미지 데이터를 출력하거나 획득할 수 있다. 따라서 이런 범용 영상 처리 장비의 표본추출율(sampling rate)는 30 Hz라고 말할 수 있다. 이것은 만일 구조물이 3 Hz 이하 정도의 저주파수로 진동하는 경우에 계측이 가능함을 의미한다.

이 연구에서는 진동 구조물에 삼각형 모양의 표시를 부착하고 카메라로 받은 영상의 특정 일부분의 움직임을 처리하고 데이터화하여 진동을 계측하였다. 그리고 영상 처리로 얻어진 진동 계측 결과를 확인하기 위해 구조물에 압전감지기를 부착하여 진동을 계측하였다. 영상 처리 결과를 압전감지기 결과와 비교해본 결과 영상 처리 방법의 타당함을 확인할 수 있었다. 고성능의 영상 처리 장치를 이용하면 차후에 주파수 대역과 분해능을 더 높일 수 있을 것으로 예상된다.

2. 영상 처리 알고리즘

이 연구에서는 진동 계측을 영상으로 처리하기 위해서 먼저 대상 구조물에 삼각형 모양의 표시장치를 부착하였다. 이와 곽의 연구⁽⁴⁾에서는 원형의 표시장치를 이용하였는데 이 연구에서는 Fig.1에 보이는 것과 같은 삼각형 모양의 하얀색 표시물을 이용하였다. 삼각형 표시장치는 원형 표시장치에 비해 꼭지점을 이용하기 때문에 영상 처리 시간을 획기적으로 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.

앞에서 설명하였듯이 영상 획득 장비의 표본추출율은 30 Hz이다. 따라서 진동 계측 대상인 외팔보의 기본 진동수 f 를 3 Hz 이하로 낮추어서 실험을 수행하였다. 영상 카메라는 송신 주파수가 2.4 GHz의 대역을 갖는 무선 카메라를 사용하였다. 영상 카메라에서 획득한 영상은 칼라인데 이를 한 픽셀당 8 bit의 데이터를 갖는 흑백 영상으로 먼저 변환하였다. 그리고 흑백 영상 데이터에서 삼각형 모양만 획득하기 위해 임계

값을 조절하여 이진화된 데이터를 추출하였다. 임계값을 자동으로 결정하는 Ozzu 방법⁽⁶⁾이 있지만 이 실험에서는 수동으로 조절하는 방법을 사용하였다.

움직이는 물체를 영상으로 포착하는 방법 중에서 가장 많이 사용하는 방법은 물체의 중심점을 찾아 이 좌표 값으로 물체의 이동 경로를 추적하는 것이다. 이와 곽의 연구⁽⁴⁾에서 사용한 알고리즘은 Fig.2와 같다. 먼저 원형 표시물의 제일 윗부분을 윗줄로부터 하나씩 검색한다(1 부터 4). 원형 표시물의 제일 윗부분이 검색된 후에는 제일 밑줄로부터 위 방향으로 검색(5 부터 8)하면서 올라와 원형 표시물의 제일 아래



Fig. 1 Experimental setup

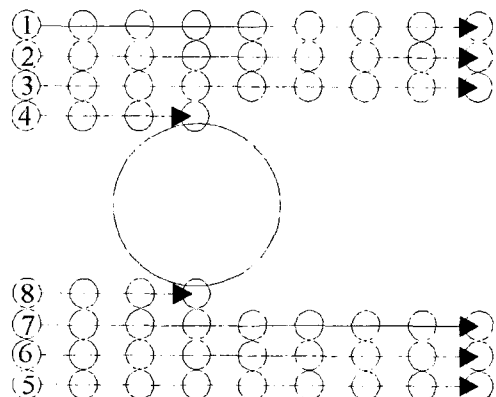


Fig. 2 Edge-searching algorithm (Lee&Kwak⁽⁴⁾)

부분을 찾는다. 이와 같은 과정을 수직방향에 대해서도 수행해 원형표시물의 좌우 끝점을 찾아 원형표시물의 중심점을 추적하는 방식이다. 이와 같은 방법은 영상 데이터가 클수록 하드웨어에 무리한 연산을 시킴으로써 속도가 느려지는 원인이 된다.

이 연구에서는 이와 같이 이동 물체의 중심점을 찾아 추적하는 방식보다는, Fig.3에 보이는 것처럼 삼각형 표시물의 꼭지점을 찾아 물체의 움직임을 추적하여 그 데이터 값으로 진동을 계측하는 방법을 제안하고자 한다. 이와 같은 방법을 사용하면 영상 처리 프로그램의 구조가 간단해질 뿐만 아니라 Fig.3에 보이는 바와 같이 삼각형 표시물의 위치를 찾고자 하는 영역을 좁혀서 찾을 수 있기 때문에 더욱 빠른 시간 안에 삼각형 꼭지점의 위치를 추적할 수 있다는 장점이 있다. Fig.2의 알고리즘과 비교하면 데이터 검색량이 얼마나 많이 줄어드는지 쉽게 알 수 있다.

Fig.3에 보이는 알고리즘은 다음과 같다. 먼저 Y축의 한 행을 기준으로 그 행의 X축 상에 있는 모든 픽셀 데이터를 검사한다. 만일 꼭지점이 없다면 다음 Y행으로 이동하여 동일한 검사를 반복한다. 만약 꼭지점을 찾게 되면 이때의 X 좌표 값을 저장하고 다음 이미지가 들어 올 때까지 대기한다. 이때 꼭지점을 기준으로 검색 영역을 지정하여 검색 시간을 단축시킬 수도 있다. 좌우로 진동하는 구조물의 경우에는 스크린에서 삼각형 표시물 위에 놓을수록 연산량이 줄어들게 된다. 연산량이 줄어들면 들수록 영상 처리 속도는 그 만큼 빨라지게 된다. 표시물의 중심점을 찾는 방법은 임계값을 잘 조절하더라도 물체의 인접한 픽셀에 의하여 중심점이 진동하는 경우가 발생하게 되지만 뾰족한 삼각형의 꼭지점을 이용하면 이와 같은 영향을 최대한 줄일 수 있다.

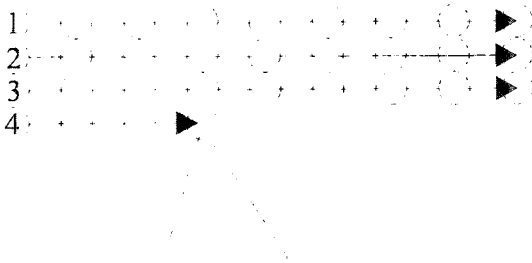


Fig.3 A new edge-searching algorithm

3. 실험 장치 및 결과

이 실험에 사용된 Image Grabber Board는 실시간으로, 640×320 크기의 영상을 30 frame의 속도로 PC로 전송할 수 있는 My Vision Board 이며 800 MHz Pentium III PC에 장착되어 있다. 진동계측을 위해 사용한 영상 데이터 크기는 320×240이다. 영상 처리 프로그램의 개발을 위해 Vision Board에서 제공된 Library와 Visual C++을 이용하였다. 그리고 GUI 환경을 Fig. 4와 같이 구축하여 Dialog Base를 기반으로 한 진동 계측 프로그램을 완성하여 사용자가 손쉽게 진동계측을 수행할 수 있도록 만들었다. Fig. 4에 보여 지는 바와 같이 실시간으로 계측된 진동이 그래프로 화면에 출력되며 밝기, 색조, 임계값 등을 동적으로 조정할 수 있게 되어 있어 계측값의 신뢰도를 높일 수 있다. 또한 삼각형의 밑변 실제 길이와 이에 해당하는 픽셀 값을 측정하여 변환상수를 자동으로 계산하였으며 이를 이용해 그래프 상에 실제 변위를 출력할 수 있도록 만들었다. 밝기, 임계값 등의 조정과 픽셀값의 계측은 진동 계측 전의 선행 작업으로, 진동 계측에 있어서 표본추출율에 영향을 주지 않는 작업이다.

일반적으로 전기적인 센서 잡음이나 영상 잡음은 필터링 기법(low pass filtering, high pass filtering)을 사용하여 잡음을 제거하지만 이 실험에서는 필터링 기법을 사용하지 않고 영상 잡음에 대한 영향을 최대한 줄이기 위한 방법으로, 단순하게 검은색 배경에 하얀색 삼각형 판을 외팔보에 매달고 이를 가진

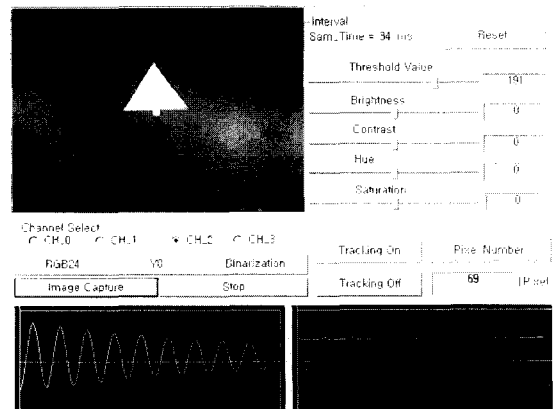


Fig. 4 Vibration measurement program

시켜 실험을 수행하였다.

실험을 수행하기 전에 먼저 삼각형 표시의 밀변 길이를 측정하고 이에 대응하는 픽셀값을 측정하였다. 측정 결과 밀변의 길이는 53mm이고 이에 대응하는

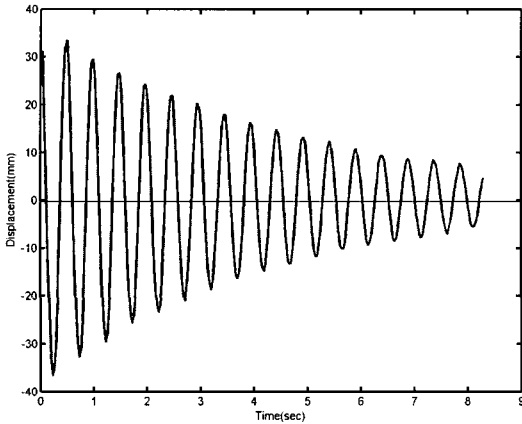


Fig. 5 Time history of displacement measurement

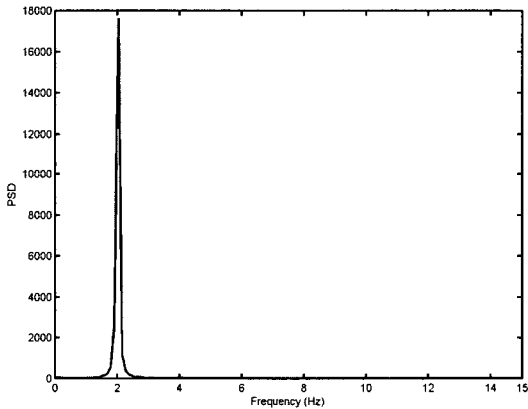


Fig. 6 Power spectral density curve

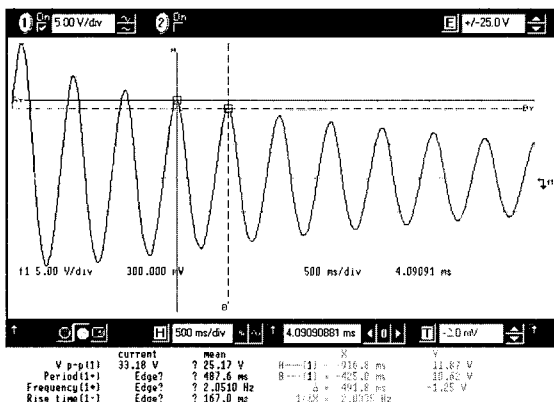


Fig. 7 Vibration measurement using pzt sensor

픽셀값은 68개였다. 따라서 한 픽셀의 분해능은 0.7794 mm/pixel이 된다. Fig. 5는 영상데이터에서 들어온 삼각형 꼭지점의 X좌표 값을 변위로 환산하여 그린 그래프이다. Fig. 5에 보이는 바와 같이 수 cm의 변위가 측정되었음을 알 수 있다. 좀더 큰 영상 크기와 삼각형 표시물을 사용하면 분해능을 높일 수 있을 것으로 보인다. 이에 대해서는 앞으로 실험을 더 수행해 보아야할 부분이다.

참고로 이 연구에서는 밀변 길이 이 53mm이고 빗변이 50mm인 이등변 삼각형을 사용하였다. 또한 변위를 측정하기 위해 영상 카메라를 정면에 위치시켰다. 카메라와 물체가 좌우로 비틀어져 있는 경우 정확한 변위를 측정하기 위해서는 추가의 변환식이 필요하게 된다.

Fig. 6은 Fig. 5의 결과에 FFT 알고리즘을 적용해서 고유 진동수를 추정한 그래프이다. 그림으로부터 진동 구조물의 고유 진동수가 약 2 Hz로 추정되었다.

영상 처리를 이용한 진동계측 결과의 타당성 조사를 위해 압전 세라믹 센서를 외팔보에 부착하고 디지털 오실로스코프를 이용해 진동을 측정하였다. Fig. 7은 진동 구조물을 자유 진동시켜, 압전 세라믹 센서에서 출력된 신호를 디지털 오실로스코프에서 측정하는 것이다. 디지털 오실로스코프에서 산정한 구조물의 고유 진동수는 약 2 Hz이다. 따라서 영상 처리를 통해 얻어진 데이터를 분석하여 얻어진 고유진동수값이 압전 센서를 이용해 얻은 고유진동수 결과와 동일함을 알 수 있다. 참고로 압전 세라믹 센서를 이용할 경우 끝단의 변위를 직접 측정할 수 없으며 끝단의 변위는 이론식을 이용해 변환하여야 구할 수 있음을 언급한다. 이와는 달리 영상 처리를 통해 진동을 측정하면 측정 위치의 변위를 직접 측정할 수 있다는 장점이 있다.

4. 토의 및 결론

이 연구에서는 영상 처리에 기반을 둔 비접촉식 진동 계측 방법을 제안하였다. 이 연구에서 제안한 방법은 대형 구조물과 같이 고유 진동수가 낮으며 큰 변위로 진동하는 경우에 적합한 방법이다.

이전 연구에서 제안한 방법은 무게 중심을 계산하는 모멘트 방법으로서 알고리즘은 간단하지만 영상 크기가 커질수록 영상 데이터 처리에 많은 시간이 소

요된다. 또한 임계값을 잘 조절하더라도 라벨링을 하지 않은 상태에서 배경과 물체가 인접한 픽셀값은 조도나 반사되는 빛에 의하여 변하게 된다. 이는 무게 중심법을 이용했을 경우 영상 처리 분해능에 의한 진동의 발생 원인이 되어 정확한 측정이 어렵게 된다. 따라서 이 연구에서는 기존의 영상 처리 기반 진동 계측 방법을 개선하여 삼각형 표시물의 꼭지점을 손쉽게 추적할 수 있는 방법을 개발하였다. 이 알고리즘의 장점은 삼각형 표시의 특성에 의해 위치 추적 연산이 빨라져서 실시간으로 변위 계측 결과를 확인할 수 있다는 것이다. 또한 하나의 특정한 점을 찾는 방식이기 때문에 흔들림이 보정이 되어 보다 정확한 진동 계측이 가능하다.

이 연구에서 제안한 알고리즘의 입증을 위해서 외팔보 형태의 구조물에 삼각형 표시물을 부착하고 실험을 수행하였다. 범용 카메라와 영상획득장비, 그리고 GUI 프로그램을 사용하여 실험을 수행한 결과 영상처리에 의해 진동을 실시간으로 계측할 수 있음을 확인하였다. 또한 영상 처리 데이터를 분석해 얻어진 고유진동수 값은 압전세라믹 센서를 이용해 얻어진 고유진동수 값과 동일하여 영상 처리 데이터의 타당함을 다시 확인할 수 있었다. 따라서 큰 변위의 저주파 진동수로 진동하는 구조물에 대해서 이 연구에서 제안한 영상 처리 기법을 이용한 진동계측방법이 유효하다고 말할 수 있다. 추후 영상 처리 장비의 해상도를 높이고 고속처리가 가능한 영상 획득 장비를 사용한다면 보다 정밀한 진동 변위의 계측이 가능해지

고 주파수대역폭을 늘려 보다 높은 주파수 성분의 변위도 계측이 가능해질 것으로 예상된다.

후 기

이 연구는 동국대학교 논문게재비 지원으로 이루어졌다. 관계자 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- (1) Holman, J. P., 1994, Experimental Methods for Engineers, 6th ed., Mc-Graw Hill Book Co.
- (2) <http://www.navcon.com/>
- (3) 서대완, 이영재, 박훈철, 윤광준, 지규인, 박찬국, 2000, "GPS 반송파를 이용한 구조물의 3차원 진동 측정", 한국소음진동공학회, 춘계학술대회논문집, pp.1303~1310.
- (4) 이승범, 광문규, 2000, "화상처리를 이용한 진동측정방법 개발", 한국소음진동공학회, 추계학술대회논문집, pp. 327~329.
- (5) Wahbeh, A. M., Caffrey, J. P., and Masri, S. F., "A Vision-based Approach for the Direct Measurement of Displacements in Vibrating Systems," Smart Structures and Materials, Vol.12, 2003, pp. 785~794.
- (6) 강동중, "Visual C++을 이용한 디지털 영상 처리", 사이텍 미디어.