

영상 처리 방법을 이용한 구조물의 저주파수 진동 계측

김기영*, 광문규**

Measurement of Low-Frequency Vibrations of Structures Using the Image Processing Method

Ki-Young Kim and Moon K. Kwak

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 discuss the methodology for the vibration measurement using the image processing method. The method enables us to measure the displacement directly without any contact. The resolution of the vibration measurement can be refined but limited to the sub centimeter displacement.

1. 서론

진동 계측에는 가속도계, 스트레인 게이지 등과 같이 구조물에 부착하는 접촉식 방법과 레이저 등을 이용하는 비접촉식 방법으로 구분할 수 있다. 다리, 송전탑, 고층 건물과 같은 대형 구조물의 경우에는 접촉식 진동 계측 센서와 후처리 장비를 사용하여 계측을 하는데 있어서 거리의 제약을 많이 받게 된다. 또한 가속도계 같은 경우, 소형 구조물에 있어서 구조물의 동적 특성을 변화시키는

단점이 있으며 레이저의 경우에는 고가인 장비일 뿐만 아니라 여러 가지 부가 장치를 설치해야 하는 단점이 있다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위한 방법으로 GPS 신호를 이용하는 방법[2]도 제시되어 졌다. 본 연구에서는 영상 카메라와 PC를 이용하여 이러한 단점들을 보완하고, 저주파수 구조물의 진동 측정에 대하여 논의하고자 한다. 영상처리를 이용해 진동을 계측하는 방법에 대해서는 이[1]의 논문에서 처음 시도되었다. 본 연구에서는 이 [1]의 논문에서 제시한 방법을 개선하여 보다 정밀한 고속의 계산 알고리즘을 제시하였다. 또한 GUI 환경을 구축하여 실시간으로 진동계측을 수행할 수 있는 소프트웨어를 개발하였다.

* 동국대학교 기계공학과 대학원

** 동국대학교 기계공학과 교수

영상 처리의 응용 분야는 영화의 특수 효과, 얼굴이나 지문 인식을 통한 보안, 공장 자동화 시스템, 의학, 로봇 등, 많은 분야에 걸쳐서 다양한 방법으로 사용되어 지고 있다. 예로 일본에서는 로봇의 시각을 고속 영상 장치를 이용하여 야구하는 로봇을 개발하였다. 일반적으로 사용되는 카메라와 Image Grabber는 NTSC규약에 맞추어서 초당 30frame에 해당하는 이미지 데이터를 출력 및 획득할 수 있다. 따라서 Sampling Rate는 30Hz라고 말할 수 있다. 만일 구조물의 진동이 3Hz 이하 정도의 저주파수를 갖는다면 이를 계측하는데 무리가 없는 속도이다.

본 연구에서는 진동 구조물에 삼각형 모양의 표시를 부착하고 영상 카메라로 받은 화상을 영상 처리하여 특정 일부분의 움직임을 데이터화하여 진동을 계측하였다. 구조물 자체에 압전 센서를 부착하였는데 이를 통해 얻어진 결과를 영상처리를 통해 얻어진 결과와 비교하였다. 영상처리를 이용해 얻어진 결과를 분석한 결과 영상 장치를 이용한 저주파수 진동 계측 방법이 타당함을 확인할 수 있었다.

2. 영상 처리 알고리즘

진동 계측을 영상으로 처리하기 위해서는 먼저 대상 구조물의 진동 계측 부분에 특정 표시장치를 부착해야 한다. 이[1]의 연구에서는 원형의 목표물을 이용하였는데 본 연구에서는 Fig. 1에 보이는 것과 같은 삼각형 모양의 하얀색의 표시물을 이용하였다. 또한 외팔보 자체의 기본 진동수가 약 10Hz이기 때문에 이를 3Hz 이하로 낮추기 위해 소형 바이스를 이용하여 질량을 부가하였다. 영상 카메라는 송신 주파수가 2.4Ghz의 대역을 갖는 무선 카메라를 사용하여 실험 장치를 간단하게 구성하였다.

영상 카메라에서 칼라 영상이 들어오지만 이를 이진값으로 변환된 영상으로 바꾸어서 한 픽셀당 8bit의 데이터를 갖는 영상으로 변환하였다. 그리고 흑백 영상 데이터에서 삼각형 모양만 획득하기 위해 임계값을 조절하여 이진화 하였다. 임계값을

자동으로 결정하는 Ozzu 방법[3]이 있지만 본 실험에서는 수동으로 조절하는 방법을 사용하였다.

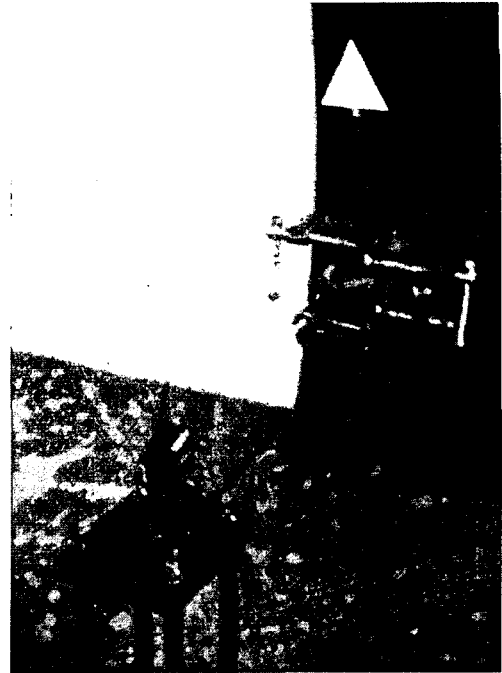


Fig. 1 Experimental Setup

움직이는 물체를 영상으로 포착하는 방법 중에서 가장 많이 사용하는 방법은 물체의 중심점을 찾아 이 좌표 값으로 물체의 이동 경로를 추적하는 것이다. 이와 같은 방법은 영상 데이터가 클수록 하드웨어에 무리한 연산을 시킴으로써 속도가 느려지는 원인이 된다. 이[1]에서는 보다 효율적인 방법을 사용하여 X축으로 이동하는 물체의 양쪽 끝의 화소를 찾고 Y축으로도 동일한 방법을 수행하여 양쪽 화소를 찾아, 여기에서 얻은 X좌표와 Y좌표 값을 산술 평균을 이용하여 물체의 중심점을 찾았다.

본 연구에서는 이동 물체의 중심점을 찾아 추적하는 방식보다는, Fig. 2처럼 삼각형 표시의 꼭지점을 찾아 물체를 추적하여 그 데이터 값으로 진동을 측정하는 방법을 제안하였다. 프로그램도 간단할 뿐만 아니라 삼각형 표시의 위치에 따라 더욱 빠른 시간 안에 물체를 추적할 수 있는 장점이 있다.

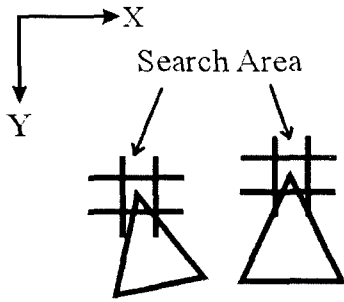


Fig.2 Edge-Searching Algorithm

사용된 알고리즘은 영상 화면이 연속적으로 들어올 때마다 위의 꼭지점을 찾는다. 실험에 사용한 진동 구조물은 좌우로 진동을 하기 때문에 관심이 있는 데이터 값은 Y축 좌표가 아닌 X축 데이터 값이다. 만약 위아래로 진동하는 구조물이라면 X축 좌표 값보다는 Y축 좌표 값이 관심이 되는 데이터라 할 수 있다.

Y행을 기준으로 각 X행에 있는 모든 픽셀을 검사하며 꼭지점이 없으면 다음 Y행으로 이동하여 같은 수행을 반복한다. 만약 첫 번째 꼭지점을 찾으면 이때의 X 좌표 값을 저장하고 다음 이미지가 들어올 때까지 대기한다. 좌우로 진동하는 구조물이라면 스크린에서 삼각형 표시를 위로 위치시킬수록 연산량이 줄어들기 때문에 속도가 느려지는 것을 방지할 수 있다. 이동 물체의 중심점을 찾는 방법은 임계값을 잘 조절하더라도 물체의 인접한 픽셀에 의하여 중심점이 진동하는 경우가 생기게 되지만 뾰족한 삼각형의 꼭지점을 이용하면 이와 같은 영향을 최대한 줄일 수 있다.

3. 실험 장치 및 결과

본 실험에 사용된 Image Grabber Board는 실시간으로, 640*320 크기의 영상을 30frame의 속도로 PC로 전송할 수 있는 My Vision Board 이며 Pentium III 800MHz 인 PC를 사용하였고 영상 데이터 크기는 320*240 이다. 영상처리 프로그램의 개발을 위해 Vision Board에서 제공된 Library와 Visual C++을 이용하였다. 그리고 GUI 환경을 Fig. 3와 같이 구축하여 Dialog Base를 기반으로 한 진동 측정 Program을 완성하였다. 따라서 사

용자가 손쉽게 진동계측을 수행할 수 있다. Fig. 3에 보여지는 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 밑변의 픽셀값을 측정할 수 있게 되어 있어 실제 변위로의 변환을 가능하게 만들었다. 밝기, 임계값 등의 조정과 픽셀값의 측정은 진동측정 전의 선행 작업으로, 진동 측정에서 Sampling Time에 영향을 주지 않는다.

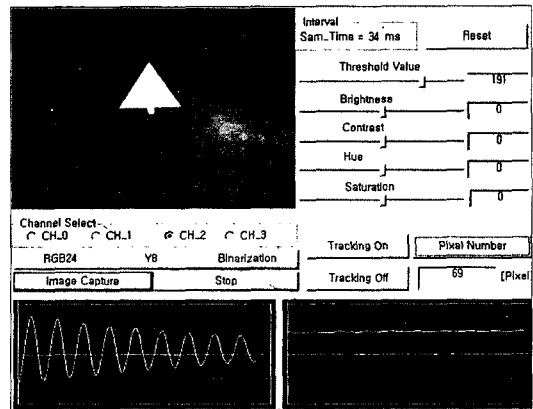


Fig. 3 Vibration Measurement Program

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

Fig.4은 영상데이터에서 들어온 삼각형 꼭지점의 X좌표 값을 변위로 환산하여 그린 그래프이다. Fig. 4를 그리기 위해 먼저 픽셀값을 실제값으로 변환하는 공식을 유도하였다. 이를 위해 삼각형 표시의 밑변 길이를 계측하고 이에 대응하는 픽셀값을 계측하였다. 계측 결과 밑변의 길이는 53mm이고 이에 대응하는 픽셀값은 68개였다. 따라서 한 픽셀의 분해능은 0.7794 mm/pixel이 된다. 이를 이용해 Fig. 3에 보이는 변위 곡선을 실제 값으로 변환하여 나타낸 그림이 Fig. 4이다. Fig. 4에 보이는

바와 같이 수 cm의 변위가 계측되었음을 알 수 있다. 좀더 큰 영상 크기와 삼각형 표시물을 사용하면 분해능을 높일 수 있을 것으로 보인다. 이에 대해서는 앞으로 실험을 더 수행해 보아야 할 부분이다.

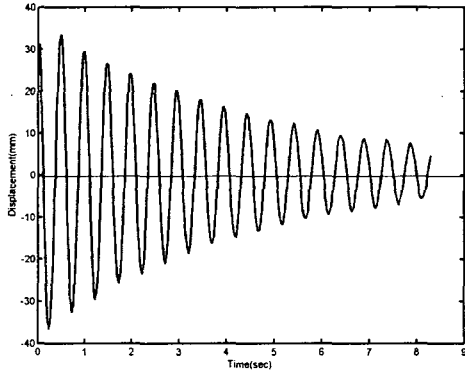


Fig. 4 Time History of Displacement Measurement

참고로 본 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 계측하기 위해서는 추가의 변환식이 필요하게 된다.

영상처리를 이용한 진동계측 결과의 타당성 조사를 위해 압전 세라믹 센서를 외팔보에 부착하고 디지털 오실로스코프를 이용해 진동을 계측하였다. Fig. 5는 진동 구조물을 자유 진동 시켜, 압전 세라믹 센서에서 출력된 신호를 디지털 오실로스코프에서 측정된 것이다. 디지털 오실로스코프에서 산정한 구조물의 고유 진동수는 약 2Hz 이다. 압전 세라믹 센서를 이용할 경우 끝단의 변위를 직접 계측할 수 없으며 이를 이론식을 이용해 변환하여야만 끝단의 변위를 산정할 수 있다. 이와는 달리 영상처리를 통해 진동을 계측하면 계측 위치의 변위를 직접 계측할 수 있다는 장점이 있다.

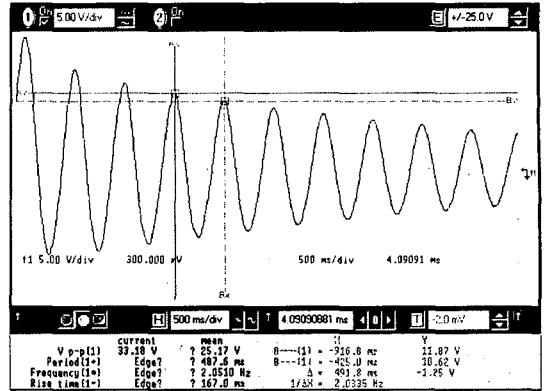


Fig. 5 Vibration Measurement Using PZT Sensor

Fig. 6는 Fig. 4의 결과에 FFT 알고리즘을 적용해서 고유 진동수를 추정한 그래프이다. 그림으로부터 진동 구조물의 고유 진동수가 약 2Hz으로 추정되었다. 따라서 압전 센서를 이용해 얻은 결과를 디지털 오실로스코프에서 처리하여 얻은 고유진동수 결과와 동일한 결과를 얻었음을 알 수 있다.

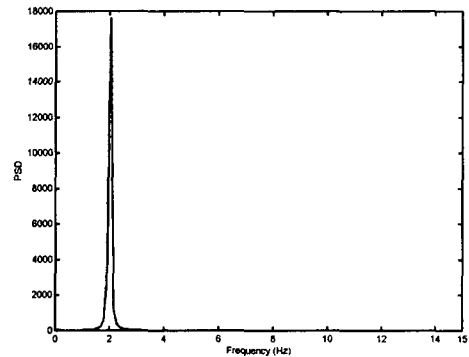


Fig. 6 FFT Power Spectrum Density Curve

4. 토의 및 결론

본 연구에서는 영상 처리를 기반으로 한 비접촉식 진동 계측 방법으로써 고유 진동수가 낮은 구조물의 진동을 측정하였다. 무게 중심을 계산하는 모멘트 방법은 프로그램은 간단하지만 영상 크기가 커질수록 진동을 측정하는데 있어서 무리가 따른다. 또한 임계값을 잘 조절하더라도 라벨링을 하지 않은

상태에서 배경과 물체가 인접한 픽셀값은 조도나 반사되는 빛에 의하여 변하게 된다. 이는 무게 중심을 진동하게 하는 원인이 되어 정확한 측정이 어렵게 된다. 따라서 본 연구에서는 기존의 영상 처리 기반 진동 계측 방법을 개선하여 삼각형 표시물의 꼭지점을 손쉽게 추적할 수 있는 방법을 개발하였다. 이 프로그램의 장점은 삼각형 표시의 특성에 의해 위치 추적 연산이 빨라져서 부가적인 프로그램을 수행할 수 있다는 것이다. 또한 하나의 특정한 점을 찾는 방식이기 때문에 흔들림이 보정이 되어 보다 정확한 진동 계측이 가능하다.

본 연구에서는, 이동 물체의 무게 중심을 찾아 구조물의 진동을 측정하는 방법을 개선하기 위하여 삼각형 표시물의 꼭지점을 쉽게 포착하는 알고리즘을 사용해 진동을 계측하는 방법을 제시하였다. 그리고 진동 구조물에 압전 센서를 부착하여 얻어진 진동수 측정값을 영상 데이터를 FFT 알고리즘으로 계산한 진동수 값과 비교하여 영상을 이용한 진동 측정이 저주파수의 진동 계측에 타당함을 입증하였다.

참 고 문 헌

- [1] 이승범, 박문규, “화상처리를 이용한 진동측정 방법 개발”, 소음진동 학술대회 논문집 p. 327~329, 2000. 11.
- [2] 서대완, 이영재, 박훈철, 윤광준, 지규인, 박찬국, “GPS 반송파를 이용한 구조물의 3차원 진동 측정”, 소음진동 학술대회 논문집 p. 1303~1310, 2000. 6.
- [3] 강동중, “Visual c++을 이용한 디지털 영상처리”, 사이텍 미디어