

가속도계를 이용한 탄성지지된 강체의 무게 중심 변위 재구성

Displacement Reconstruction on Center of Gravity for Elastic Supported Rigid Body Using Accelerometers

김정래* · 김세상** · 박광연*** · 이해성****

Kim, Jung Rae · Kim, Sesang · Park, Kwang Yeun · Lee, Hae Sung

본 논문은 강체 표면에 부착된 가속도계를 이용하여 탄성받침에 지지된 강체 무게중심의 변위를 재구성하는 기법을 제시한다. 가속도 정보는 대상체의 운동방정식으로 표현되며 이는 강체의 형상에 대한 정보만을 제공한다. 하지만 무게중심의 위치는 강체의 형상뿐만 아니라 질량분포에 대한 함수이기 때문에 가속도 정보만을 이용하여 위치를 추정하기 위해서는 무게중심의 거동특성을 추가의 정보로 제공해야 한다. 본 연구에서는 강체의 무게중심의 좌표와 가속도의 변화가 다른 지점보다 작다는 기지의 정보(prior information)를 시간 창(time window) 개념을 도입하여 제공한다. 진동하는 물체의 가속도를 이용하여 변위를 구하는 것은 간단한 적분 문제이지만 측정 가속도에 잡음이 포함되어 있다면 적분과정을 통해 크게 증폭된다. 이는 변위재구성 기법으로 해결할 수 있다. 이 때 대상체의 거동의 특징을 고려하여 목표주파수를 결정해야 하며 주파수 영역의 적분을 통해서 주파수가 신호에 갖는 영향을 판별하여 결정한다.

핵심용어 : 무게중심, 운동방정식, 시간창, 변위 재구성 기법, 목표주파수

1. 서론

최근 탄성 받침 위에 놓여진 강체 무게중심의 변위이력을 구하는 수요가 있다. 강체 무게중심의 6축 변위를 안다면 기하 전달 행렬을 이용하여 탄성받침에 가해지는 힘을 구할 수 있기 때문이다. 하지만 강체 무게중심의 변위를 직접 측정하는 것은 불가능하다. 따라서 강체 표면에 부착된 가속도계를 이용하여 무게중심의 좌표와 가속도를 구하는 기법을 제시한다. 또한 변위재구성을 위하여 가속도가 가지고 있는 정적 성분과 동적 성분을 구분하는 주파수를 선정하는 방법을 제안한다.

2. 운동방정식을 이용한 무게중심의 좌표 및 가속도 추정

강체의 운동방정식에 의해 임의의 점의 가속도는 강체 내부의 고정점에서의 가속도, 상대거리, 각속도 및 각가속도로 기술된다. 강체의 거동 특성에 의해 각속도를 무시할 수 있고 3지점 이상에서 가속도가 측정되었다면 최소제곱법을 통하여 강체의 각가속도를 구할 수 있다. 이에 의해 운동방정식은 방정식의 개수보다 미지수(고정점에서 가속도, 상대거리)가 많은 부정방정식이 된다. 만약 강체의 거동 특성에 의해 무게중심의 위치와 가속도가 다른 지점에 비해 변화가 작다면 주어진 시간창 안에서 무게중심의 좌표와 가속도가 일정하다는 정규 조건을 적용할 수 있다. 이를 적용한 운동방정식의 고정점의 가속도는 무게중심의 가속도가 되며 상대거리는 무게중심의 좌표가 된다. 시간창 안에서 미지수의 수는 고정 되고 시간창의 크기만큼 방정식의 수가 추가되어 무게중심의 좌표와 가속도를 최소제곱법을 통하여 구할 수 있다.

* 서울대학교 건설환경공학부 석사과정 (E-mail: jrkim08@snu.ac.kr)

** 서울대학교 건설환경공학부 석사과정 (E-mail: kss12@snu.ac.kr)

*** 서울대학교 건설환경공학부 부교수 · 공학박사 (E-mail: kypark03@snu.ac.kr) - 발표자

**** 서울대학교 건설환경공학부 교수 · 공학박사 (E-mail: chslee@snu.ac.kr)

3. 변위 재구성을 위한 목표주파수 설정 기법

변위 재구성 기법을 통해 가속도를 적분하는 과정에서 증폭되는 저주파 영역의 잡음을 제거할 수 있다. 하지만 대상체의 거동에 정적성분이 포함되어 있다면 저주파영역의 잡음을 제거하는 과정에서 저주파영역의 유의미한 신호가 제거 된다. 따라서 고주파와 저주파 성분을 모두 포함한 가속도의 변위를 재구성하기 위해서 가속도 신호를 주파수 영역에 따라 별도로 처리해야 하며 이에 따라 두 영역을 구분하는 주파수를 선정해야 한다. 주파수 스펙트럼은 해당 주파수가 갖는 신호에 대한 기여도의 지표이다. 따라서 주파수 스펙트럼의 적분값의 기울기가 급격하게 변화하는 점은 주파수가 가지고 있는 신호의 기여도가 급격히 변화하는 지점이며 이를 고주파 영역과 저주파 영역을 구분하는 주파수로 선정한다. 이 주파수 값은 주파수 스펙트럼의 적분을 bilinear fitting한 직선의 교차점으로 선정하고 이는 변위 재구성 기법의 목표주파수가 된다. 구분된 두 영역에 대해서 고주파성분은 변위 재구성 기법을 통하여 변위를 재구성하며 저주파성분은 수치적분을 이용하여 변위를 재구성한 뒤 최종적인 변위를 구할 수 있다.

4. 예 제

기법을 확인하기 위해 3지점의 탄성지지대 위에 놓인 직사각형 강체 예제를 적용한다. 직사각형 강체 위에 부착된 가속도계는 총 4지점이고 가속도계의 측정주파수는 204.8Hz으로 총 12288(60sec)step동안 측정되었다. 무게중심의 좌표와 가속도를 추정할 때 사용된 시간창의 크기는 301(1.47sec)step이다. 모든 시간영역에 대한 무게중심의 평균과 무게중심의 변위는 아래 그림과 같다. Bilinear fitting을 이용하여 구한 각 축의 목표주파수는 4.73Hz, 9.45Hz, 12.23Hz이며 목표정확도는 0.97이다.

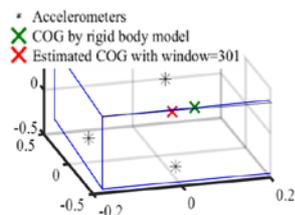


그림 1. 추정 무게중심

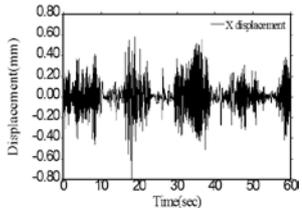


그림 2-a. x축 무게중심 변위

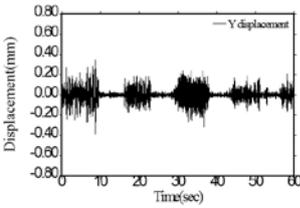


그림 2-b. y축 무게중심 변위

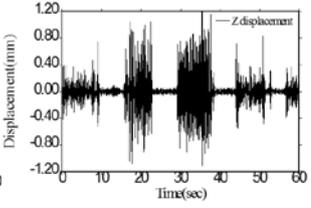


그림 2-c. z축 무게중심 변위

시간창안에서 무게중심의 가속도가 변화하지 않는다는 정규조건은 무게중심의 가속도가 갖는 고주파영역의 신호를 제거한다. 탄성받침위에 놓여진 강체의 경우 고주파영역의 신호를 포함하기 때문에 기존의 정규조건으로 무게중심의 위치를 추정할 시 오차가 발생할 수 있다. 따라서 탄성받침의 무게중심의 거동특성을 더 잘 반영할 수 있는 정규조건을 찾을 필요가 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 가속도 정보를 이용하여 무게중심의 변위를 재구성하는 기법을 제시한다.

1. 강체의 운동방정식에 시간창을 도입하여 무게중심의 좌표와 가속도를 구할 수 있다.
2. 주파수 스펙트럼의 적분과 bilinear fitting을 통하여 탄성받침 위에 놓여진 강체의 목표주파수를 구한 후 변위재구성 기법을 통하여 무게중심의 변위를 구할 수 있다.

참고문헌

1. Hong Y H, Lee S G, Lee H S, "Design of the FEM-FIR filter for displacement reconstruction using accelerations and displacements measured at different sampling rates", Mechanical Systems and Signal Processing, Vol. 38, No. 2, pp. 460-481, 2013.7.
2. Van Karsen J, Johnson D, Blough J, Rao M, Ge T, "Estimation of Powertrain Inertia Properties Via an In-Situ Method", SAE Technical Paper, No. 2007-01-2410, 2007.
3. Al-Rawashdeh Y M, Elshafei M, Al-Malki M F, "In-Flight Estimation of Center of Gravity Position Using All-Accelerometers", Sensors, Vol. 14, No. 9, pp. 17567-17585, 2014.