

직교적합분해 기법을 이용한 진동하는 평판의 운전모드해석

Operational Mode Analysis of Vibrating Plate using Proper Orthogonal Decomposition

이희남† · 윤두병* · 박진호*

Huinam Rhee, Doo Byung Yoon, and Jin Ho Park

1. 서 론

적합직교분해 (Proper Orthogonal Decomposition : POD)는 주로 난류 유동 등 고차원적인 물리 현상에서 주요한 영향을 미치는 기본적인 모드들을 찾아내어 자연현상의 물리적인 특성을 파악하기 위해 사용되었다.⁽¹⁾ 본 논문에서는 진동하는 평판 구조물의 가속도와 변위를 측정하고 이를 POD 처리하여 고유진동수 성분과 진동 모드를 추출하는 방법이 연구되었고 실험결과를 유한요소 해석을 통해 구한 고유진동 특성과 비교하여 방법의 타당성을 검증하였다.

2. 본 론

2.1 Proper Orthogonal Decomposition

POD 기법은 다양한 자연 현상과 관련된 고차의 물리현상들이 포함하고 있는 고유의 특성을 추출하기 위해서 응용될 수 있다. 이러한 응용의 예를 들면, 난류 유동장 데이터에 POD를 적용하여 지배적인 고유모드를 구하고 몇 개의 제한된 숫자의 모드들을 이용하여 유동장을 효율적으로 수학적으로 표현할 수 있는 저차 모델링을 만들어 유동제어를 수행하기도 한다. 한편 이 기법은 구조 진동 데이터 분석을 위해서도 효과적으로 응용될 수 있으며, 입력 가진력에 대한 정보는 사용하지 않고 진동 변위나 가속도 등의 출력 데이터 만을 측정하여 구조물의 고유진동수와 진동 모드를 비교적 쉽게 추출하기 위해 적용될 수 있다. 본 연구에서는 빔 구조물의 진동 모드 분석에 대한 이전의 연구를 확장하여 평판형 구조물에 POD기법을 적용하였다.

시공간에서의 물리 현상은 POD기법을 통해 식

(1) 과 같이 공간 모드와 시간에 대한 모드의 곱으로 분리하여 표현가능하다.

$$u(x, y, z) = \lim_{M \rightarrow \infty} \sum_{j=1}^M a_j(t) \phi_j(x, y, z) \quad (1)$$

여기서 $u(x, y, z, t)$ 는 flow variable 또는 진동 변위나 가속도 신호, $a_j(t)$ 는 mode amplitude, $\phi_j(x, y, z)$ 는 spatial mode를 의미하며, $u(x, y, z, t)$ 는 시공간 함수이므로 공간 상관함수를 계산하고 공간함수가 최대가 되도록 고유값 문제를 설정하여 고유값과 고유벡터를 구한다. 여기서 고유값은 각 모드의 에너지를 의미하고 고유벡터는 공간함수로서 본 연구에서는 진동 진폭을 의미하며 진동 모드형상 정보를 포함하게 된다.

2.2 평판 구조물 진동 모드 해석

본 연구에서 사용된 구조물은 Fig. 1 과 같이 중앙 부근이 고정되어있는 정사각형 모양의 평판이며 초기 충격에 의해 자유 진동한다. 4개 가속도 센서를 이용하여 모서리 위치에서 진동을 측정하여 Fig. 2 와 같은 변위 데이터를 수집하였다. 측정된 변위 데이터를 이용하여 고유 모드를 파악하기 위해 method of snapshot 방법을 사용한 POD를 수행하였다.

Fig. 3은 POD 처리를 통해서 구한 각 모드의 고유치를 보여주며 고유 모드들 중에서 1번과 2번 모드가 가장 큰 영향력이 있고 3차 이상 모드들의 영향은 급속히 감소한다는 것을 확인할 수 있다. 이는 구조물과 경계조건의 특성상 중앙에 위치한 회전 스프링 지지조건에서 회전하는 강체운동과 유사한 운동이 지배적으로 발생할 것이므로 타당하다고 판단된다. Fig. 4 는 모드들의 시간계수를 보여주고 있으며 각 모드들의 시간에 따른 기여도의 변화 추이 및 스펙트럼 분석을 통해서 주파수 성분을 알 수 있다.

† 교신저자; 정희원, 순천대학교 기계우주항공공학부
E-mail : hnrhee@sunchon.ac.kr
Tel : 061-750-3824, Fax : 061-750-3820

* 정희원, 한국원자력연구원

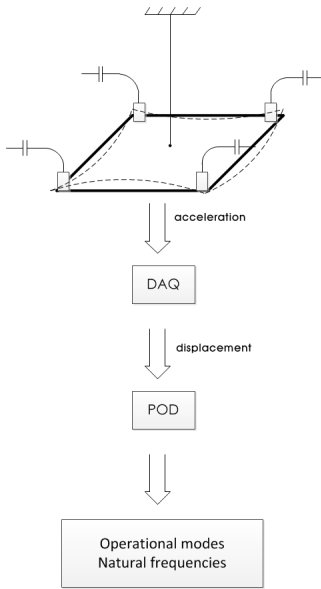


Fig. 2 Overall procedure

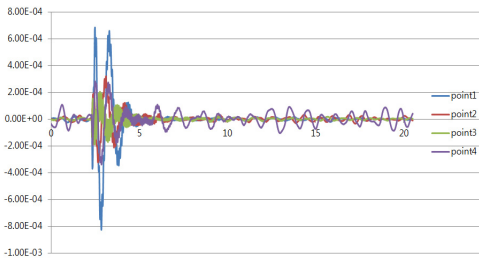


Fig. 2 Displacement data

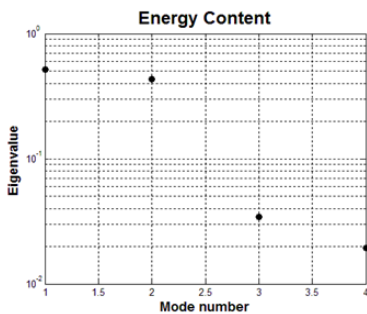


Fig. 3 Eigenvalues

Fig. 5 는 공간모드 즉, 식 (1) 에서의 $\phi_j(x, y, z)$ 를 보여주며, 예로써 FEM 해석을 이용해 구한 첫 번째와 네 번째 모드형상과 POD를 통해 구한 모드와 비교해 볼 때 잘 일치하는 것을 확인할 수 있다. 한편 Fig. 4 의 시간계수 및 Fig. 5 의 공간모드 정보를 이용하면 역으로 진동 변위의 시간

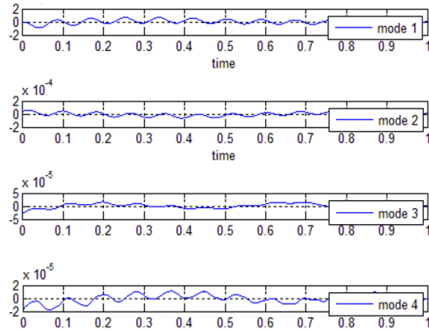


Fig. 4 Time coefficients

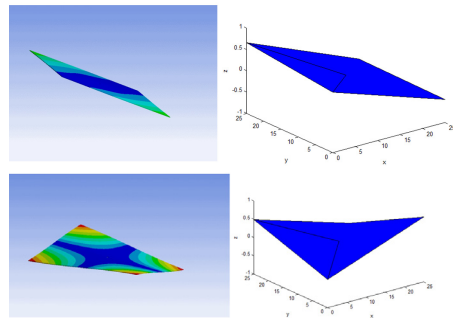


Fig. 5 1st and 4th Modeshapes (left: FEM, right: POD)

이력 데이터를 재구성하여 복원하는 것도 가능하다.

3. 결론

평판형 구조물로부터 측정된 진동 데이터에 적합 직교분해방법을 적용하여 고유모드 정보를 추출하고 고유모드들의 물리적 타당성을 확인하였으며 진동모드형상이 유한요소 모델링을 이용하여 구한 고유진동모드와 잘 일치함을 보였다. 본 방법은 가진원 정보 없이도 구조물의 진동 출력 신호만을 이용하여 고유진동모드 정보와 모드 기여도를 알 수 있는 기법으로서 유동에 의해 발생하는 구조물이나 원전 구조물의 진동 상태 감시 등 다양한 분야에 효율적으로 응용될 수 있다고 판단된다.

후기

본 연구는 한국원자력연구원이 지원하는 원자력 안전연구사업의 일환으로 진행되었으며 이에 감사드립니다.