

ICA 기법을 이용한 바닥판의 진동소음모드 예측

Estimation of the vibro-acoustic mode properties of plate using the ICA technique

황재승† · 정기범*

J.S. Hwang, G.B. Jung

1. 서 론

수학적으로 엄밀하게 통제된 구조물은 그에 기반한 해석모형으로부터 동적거동을 예측할 수 있는 다양한 정보를 제공한다. 외부하중에 대한 공진효과를 가늠할 수 있는 고유진동수, 에너지 소산능력에 따라 응답 저감율을 평가할 수 있는 고유감쇠비, 고유모드의 위치별 응답 기여를 나타내는 모드 형상과 같은 모드 특성(모드계수)은 선형 구조 시스템에 제한적이긴 하지만 구조물의 응답을 분석하고 새로운 하중조건하에서 응답을 예측, 평가할 수 있는 강력한 도구로 활용되어 왔다. 그러나, 구조물이 점차 대형화 고층화 비정형화되면서 비대해진 해석모형에 구조물을 구성하는 재료나 부재에 내재하는 불확실성, 역학적으로 모호한 경계조건, 비 구조재의 영향이 중첩되면서 구조물의 수학적 모형이 제시하는 정보와 이를 바탕으로 수행된 해석결과의 신뢰성 저하가 초래되고 있다.

구조물의 거동을 보다 정밀하게 예측하고 평가하기 위해서는 구조물이 실제로 경험한 하중으로부터 야기된 응답을 이용하여 해석모형을 만들고 그를 기반으로 다양한 시뮬레이션을 시도해보는 방법일 것이다. 구조물의 응답은 구조물이 실제로 보유하고 있는 동적특성, 경계조건을 반영하고 있을 뿐만 아니라 하중에 대한 구조물의 대응방식을 포괄적으로 내포하고 있어서 이상화되어 있는 물리공간에서 인위적으로 정의된 수학적모델보다 더욱 정교하기 때문이다.

본 연구에서는 ICA 기법을 이용하여 계측된 응답으로부터 이들 응답에 기여하는 모드응답을 추출하는 기법에 대하여 다룬다. 계측응답으로부터 모드응답을 추출하기 위한 여러 가지 방법과 원리들이 적당한 선형변환을 찾기 위해서 개발되었으나, 그 중에서도 주요성분분석(Principal Component Analysis : PCA)이 가장 널리 이용되고 있다. 이는 데이터의 차원을 감소시키는 선형변환 기법으로 공분산(covariance)을 이용하는 2차원 방법이다. PCA는 입력데이터의 공분산에 의해 결정되는 정규직교기저(orthonormal basis)로 표현되며, 가우스 변수의 모든 정보는 공분산행렬 내에 포함되기 때문에 가우스 분포의 입력 데이터에 대해서는 적당한 것이다.

하지만 일반적으로 통신이나 신호 및 영상처리 등에서의 입력 데이터에는 비가우스 분포도 있으며, 이러한 경우에도 효과적으로 적용될 수 있는 선형변환 기법의 연구가 요구된다. 최근 PCA의 제약을 해결하기 위한 대안으로 독립성분분석(Independent Component Analysis)이 제안되었으며, 이는 데이터의 통계적 성질을 고려한 선형변환 기법으로 데이터의 분포정보를 이용하는 다차원 방법이다.

이러한 ICA 기법을 이용하여 계측된 응답으로부터 모드응답을 분리하고 모드응답에 기여하는 각 모드의 영향을 정량적으로 분석하는 것이 본 연구의 목적이다.

이를 위하여 단순한 평판에 대한 수치시뮬레이션을 통하여 지정된 위치에서 가속도 응답을 구하고 이 응답으로부터 모드응답을 추출하는 과정을 수행하였다. 추정된 가속도 모드 응답은 추후 바닥판의 해석모형을 만들어 보다 정밀하게 응답을 예측하는데 활용할 예정이며, 이들 응답이 소음에 미치는 영향을 분석하는 연구로 확대하여 나아가고자 한다.

† 정희원, 전남대학교 건축학부
E-mail : jshwang@jnu.ac.kr
Tel : 062-530-1641, Fax : 062-530-0250
* 전남대학교 건축학부 석사과정

2. ICA 기법에 의한 모드 분리

2.1 ICA 기법

PCA가 가우스 분포를 가지는 신호들간의 상관성을 나타내는 공분산행렬을 이용한 2차 선형변환 기법이라면, ICA는 공분산행렬에 포함되지 않는 데이터의 비가우스 분포 즉, 군집성이나 독립성을 가지는 변수에 대한 고차통계에 기초한 다차원 변환기법으로 PCA를 확장 시킨 것이다. ICA는 전통적으로 칵테일 파티 문제(Cocktail-party problem)로 알려진 현상을 해결하는 과정에서 개발된 것이다. 파티장에 설치된 마이크로폰에 계측된 소음은 각 개인의 음성이 뒤섞여 있으며 개인의 음성이 마이크로폰에 전달되는 경로는 매우 복잡하기 때문에 그 전달경로는 알 수 없는 상태이다. 이러한 상태에서 마이크로폰에 계측된 소음만을 이용하여 각 개인의 고유 음성을 분해, 찾아내는 것이 ICA의 문제 설정 근간이다. 개개의 음성은 독립성분(independent component), 마이크로폰에 계측된 소음은 출력(응답)에 해당하며 그 출력으로부터 독립성분뿐만 아니라 미지의 전달 경로를 동시에 추정하는 것이 ICA 기법인 셈이다.

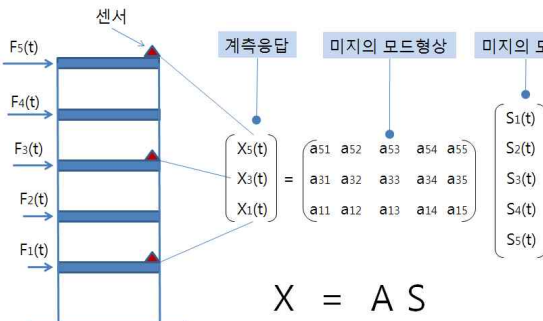


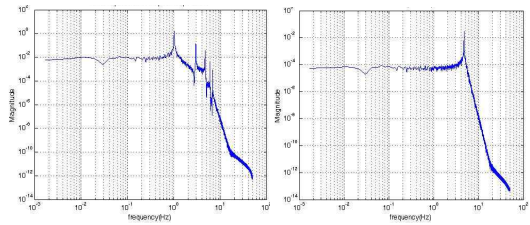
그림 1. ICA기법을 이용한 모달계수 추정법의 개요

이러한 ICA 기법을 이용하여 그림 1에서와 같이 선형 구조물의 모달계수 산정을 수행하였다. 그림 1에서와 같이 구조물에 설치된 센서로부터 얻어지는 응답은 미지 고유모드의 선형결합으로 나타낼 수 있으며, 그 결합방식을 나타내는 센서 위치에 따른 모드 응답기여율 즉 모드형상 또한 해석모델의 불확실성에 의해 미지의 상태이다. 그러므로 계측된 응답만으로 각 모드응답(독립성분)과 모드형상(각 모드의 계측응답으로의 전달방식)을 추정하는 것이

ICA기법의 문제 설정근거와 동일하기 때문에 이를 통해 모드형상을 추출하였다.

2.2 해석 결과

콘크리트의 강도(f_{ck})는 21MPa, 탄성계수(E_c)는 21.58GPa, 포아송수(ν)는 0.167의 가로 4500mm, 세로 5000mm, 두께 180mm로 가정하였으며, shell 요소의 크기는 300mm x 300mm 로 분할한 단순지지된 평판을 사용하였다. 평판의 모서리로부터 750mm 4곳과 중앙부 1곳의 가속도를 해석하고 중앙부에서 가속도응답에 대한 스펙트럼이 그림 2(a)에 나타나 있으며 이를 ICA 기법을 이용하여 3차 모드 응답을 추출한 것이 그림 2(b)이다. 이것은 해석에 의한 3차모드 응답과 매우 유사한 것으로 ICA 기법에 의해 모드응답이 효과적으로 분리될 수 있음을 알 수 있다.



(a) 평판 중앙부 가속도 응답 (b) ICA로 추정된 3차모드
그림 2. ICA기법을 이용한 모달계수 추정법의 개요

3. 결 론

본 연구에서는 ICA기법을 이용하여 구조물의 응답에 기여하는 모드 응답을 효과적으로 추출하는 기법에 대하여 다루었다. 해석결과 기존 PCA 기법에 비해 매우 정밀하게 모드 응답을 추출하는 것을 알 수 있다. 이러한 기법을 이용하여 향후 이들 모드응답이 소음에 기여하는 것을 예측하고 소음평가에 사용할 수 있는 기법 개발이 가능할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2011년 교육과학기술부로부터 지원받아 수행된 연구임 (지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단)