

독립성분분석(ICA)기법을 이용한 플로팅 구조물 진동특성분석

† 황재승 · 정기범*

† 전남대학교 건축학부 교수, *전남대학교 건축학부 석사과정

Abstract : Independent component analysis (ICA) is a method separating the mixture of signals into statistically and mutually independent ones. It has been applied to not only the Cocktail-party problem but also EEG analysis using the EEG waveform, digital signal processing, image processing and cognitive technique field actively. This study aims to propose a procedure to estimate the modal responses and mode shapes of a floating structure by using the ICA method from measured responses of the floating structure.

Keywords : Independent Component Analysis, Cocktail-party Problem, Floating structure, Mode decomposition,

1. 서 론

본 연구에서는 하중, 응답의 가우시안 가정에 기반한 기존 응답의존 시스템 식별기술에 의한 모드 분리가 가지는 단점, 한계를 독립성분분석기법을 이용하여 해결하는 방안을 시도해보고, ICA 기법에 의한 효율적인 모드분리의 가능성을 평가해 보고자 한다. 이를 위하여 ICA기법의 특징을 간략히 고찰한 후, 5층 전단구조물, 플로팅 구조물을 대상으로 수치해석을 수행하여 ICA 기법에 의한 모드분리, 그에 따른 모달특성을 산정해보았으며 모드형상 추정에 있어서 PCA기법의 하나로 모드분리에 많이 적용되어 왔던 POD(Proper Orthogonal Decomposition)기법과의 비교를 통해 ICA기법의 적합성을 평가해 보았다.

2. 독립성분분석법

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. 예컨대, 칵테일 파티에 초대된 사람들의 이야기 소리로 웅성거리는 파티장을 고려해볼 수 있다. (Fig. 1) 파티장에 설치된 마이크로폰에 계측된 혼합음성은 각 개인의 음성이 뒤섞여 있으며 개인의 음성이 마이크로폰에 전달되는 경로는 매우 복잡하기 때문에 그 전달경로는 알 수 없는 상태이다. 이러한 상태에서 마이크로폰에 계측된 혼합음성만을 이용하여 각 개인의 고유 음성을 분해, 찾아내는 것이 ICA의 문제 설정 근간이다. 개개인의 음성은 독립성분(Independent component), 마이크로폰에 계측된 혼합음성은 출력(Output, 응답)에 해당하며 그 출력으로부터 독립성분뿐만 아니라 미지의 전달경로를 동시에 추정하는 것이 ICA 기법이다.

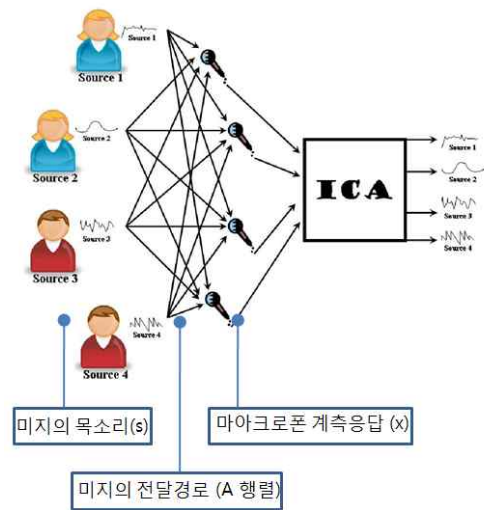


Fig. 1 Cocktail-party problem

ICA는 m 개의 입력신호 s 가 선형적으로 혼합된 n 개의 신호 x 가 알려져 있을 때, 혼합된 신호로부터 역으로 m 개의 독립인 입력신호를 찾는 기법이다. 여기서 입력신호들을 혼합하는데 이용된 혼합행렬(Mixing matrix), 또는 변환행렬 A 는 알려져 있지 않으며, 혼합 과정에서 잡음 \hat{N} 이 추가 될 수도 있다. 이때 복합신호와 입력신호 사이의 관계는 다음의 식(1)로 정의된다.

$$x = As + \hat{N} = \sum_{i=1}^m s(i)a(i) + \hat{N} \quad (1)$$

여기서 \hat{N} 잡음, $A = [a(1), a(2), \dots, a(m)]$ 으로 $a(i)$ 는 ICA의 기저벡터이다. 결국 ICA는 알려진 혼합신호 x 로부터 혼합행렬의 역행렬 A^{-1} 을 찾는 기법이다. 즉 출력신호인 복합신호는 알 수 있으나 혼합기의 특성인 A 와

입력신호인 원 신호 s 는 알려져 있지 않다. 결과적으로 입력신호와 출력신호가 일치하도록 하는 즉, $y = Wx = WAs$ 에서 $WA = I$, 곧 $W = A^{-1}$ 의 관계를 찾아 내는 기법이다.

3. ICA 기법을 이용한 모드분리

ICA기법의 분리성능에 의하여 5층 전단 구조물과 플로팅 구조물의 모드 응답을 추출하였다. ICA기법에 의하여 선형 구조물의 모달계수 산정과정을 나타낸 것이 Fig. 2에 도시되어 있다. 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. 모드분리 전 5층 가속도와 1, 3, 5층의 계측된 응답만으로 분리된 1차 모드 응답이 각각 Fig. 3, 4에 나타나 있다.

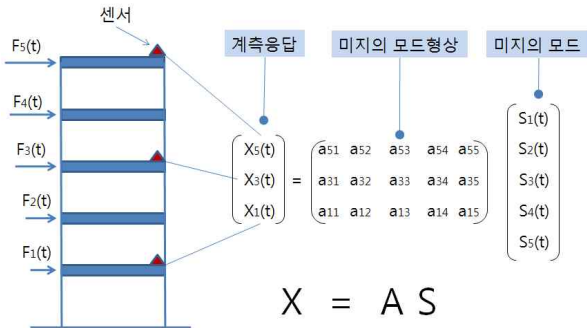


Fig. 2 Modal property estimation by ICA

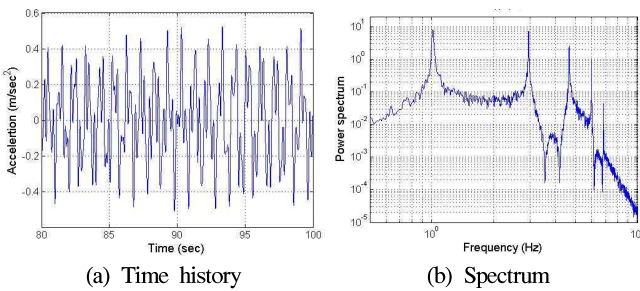


Fig. 3 5th story acceleration response

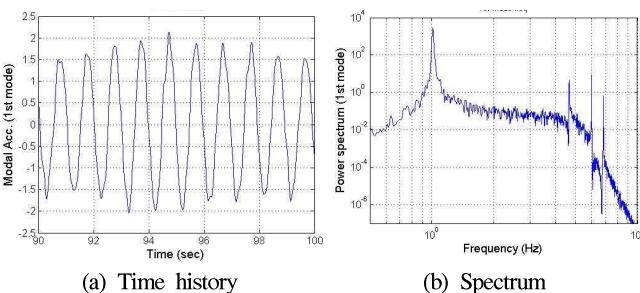


Fig. 4 1st modal response estimated by ICA

ICA기법을 이용한 플로팅 구조물의 탁월모드 추정을 위한 진동계측실험을 수행하였다. 대상구조물의 평면과 계측 과정이 Fig. 5에 나타나 있다.

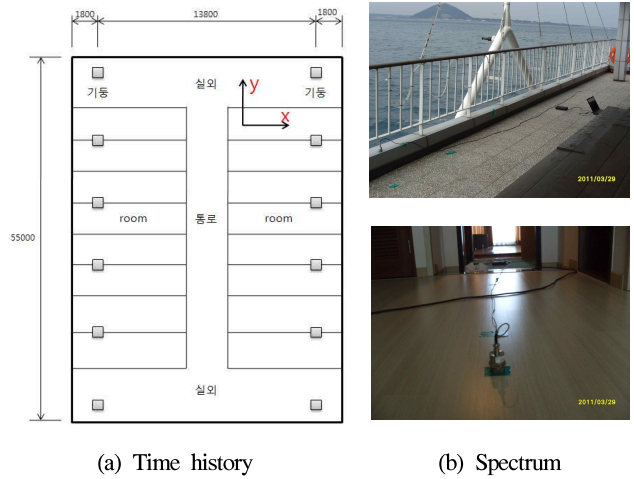


Fig. 5 Measurement system of floating structure

계측된 플로팅 구조물의 응답을 보면 주기 3.3 초 정도의 주성분이 있고 선체 슬래브등에서 발생하는 진동이 첨가되어 있다. 장축의 회전모드 (pitch)와 상하진동(Z)는 장축방향으로 연결될 닻에 의해 거의 발생하지 않는 것으로 나타났으며 주된 진동성분은 rolling에 의한 진동으로 보인다.

4. 결론

본 연구에서는 혼합된 신호(구조물의 응답)만을 이용하여 상호 독립적인 신호들을 분리해 내는 ICA 기법에 의해 플로팅 구조물의 모드응답과 모드형상을 추정하는 기법에 대해 다루었다. ICA기법이 가지는 혼합신호의 분리성능에 착안하여 그 활용가능성을 플로팅 구조물의 모달 특성추정에 적용해 본 결과 플로팅 구조물의 주요 진동모드응답 분리가 가능한 것으로 나타났다.

감사의 글

본 논문은 2010년 국토해양부 기술연구개발의 지역기술혁신사업 (과제번호 : 10지역기술혁신 B01)의 일환으로 수행된 연구임을 밝히며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] Lee. T.W., Independent Component Analysis : Theory and Applications, Kluwer Academic Publications, Boston, 1998.