

# 얇은 아치의 주기 외력에 대한 동적 불안정성과 임계 주파수에 관한 연구

손수덕\*, 하현주\*, 김병준\*\*, 이승재\*  
 \*한국기술교육대학교 디자인·건축공학부  
 \*\*한국기술교육대학교 미래융합공학전공  
 e-mail:sdshon@koreatech.ac.kr

## A Study on the Dynamic Stability of a Shallow Arch under Periodic Load and Its Critical Frequency

Sudeok Shon\*, Hyeonju Ha\*, Byeongjun Kim\*\*, Seungjae Lee\*

\*School of Industrial Design Eng. & Arch. Eng., Korea Univ. of Technology and Education

\*\*Future Convergence Engineering, Korea Univ. of Technology and Education

### 요약

얇은 아치의 동적 불안정 현상과 임계 하중을 결정할 수 있는 주파수의 변화를 연구하였다. 대칭 및 비대칭 변위 성분을 고려하여 동적 불안정 현상을 기본적으로 살펴보고, 외력에 따른 주파수를 푸리에 스펙트럼을 통해서 분석하였다. 하중 증가에 따른 시계열 응답의 주파수 변화는 arch 형상에 따라 특성이 달라지며, 이들의 주파수의 변화는 임계점을 근방으로 다르게 나타난다. 또한 대칭 및 비대칭 모드에 대한 초기조건에 민감한 좌굴 현상은 형상에 따라 민감한 정도가 달라지며, 주기하중에 대한 변화는 주기하중의 파라미터에 따라서 그 특성이 달라진다. 특히 임계 레벨에서 탁월 주기는 급격하게 증가한다.

### 1. 서론

아치나 셸 시스템이 긴 스패의 지붕구조에 적합한 까닭은 편평한 판 시스템으로 지붕을 덮을 때보다 더 얇게 덮을 수 있기 때문이다. 이것은 중력에 의한 외부 하중을 더 효과적으로 저항하는 특성이 있는 것으로 설명할 수 있다. 그러나 여기에는 예상치 못한 불안정한 현상도 동반하게 된다. 특히 얇은 아치는 아름답고 가벼우나 구조적 불안정성을 잘 알아야만 안전하게 설계할 수 있다.

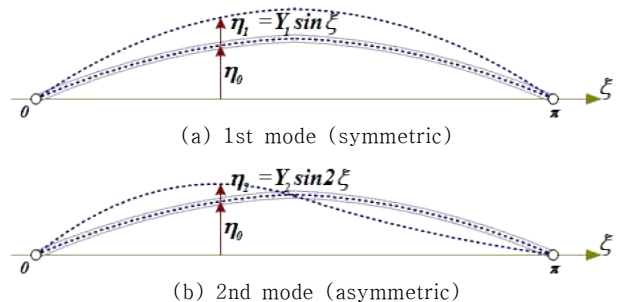
얇은 아치의 좌굴에 대한 임계 하중은 시간에 무관한 하중의 경우 평형상태의 경로를 관찰함으로써 예측할 수 있다. 그러나 동적인 특성이 있는 외력의 경우 외력의 주기는 구조물에 큰 영향을 미친다. 이러한 까닭에 시계열 응답의 위상공간을 관찰하거나 미세한 주기 파라미터의 변화에 대한 과도한 반응을 관찰하여야만 예측할 수 있다. 특히, 시계열 응답의 주파수를 분석하는 것은 이러한 특성을 알아보는 한 방법으로 사용할 수 있다. 임계 전 후의 주파수의 관찰을 통해서 이러한 상태를 쉽게 관찰할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 얇은 아치의 동적 좌굴 임계 하중과 임계 전후의 다양한 변화를 시계열 응답과 주파수 영역에서 나타나는 특성으로 설명한다. 변위 응답을 관찰하고, 임계 좌굴 하중을 산정하여 변화와 특성을 분석하도록 하며,

임계 근방의 민감한 신호에 대해서는 탁월 주파수의 변화와 최대 변위응답을 통해서 관찰하도록 한다.

### 2. 얇은 아치의 변위 모드

본 연구의 대상인 아치의 대칭 및 비대칭 모드는 아래 그림과 같고, 각각의 파라미터는 무차원화 변수를 이용하여 모델링한다.

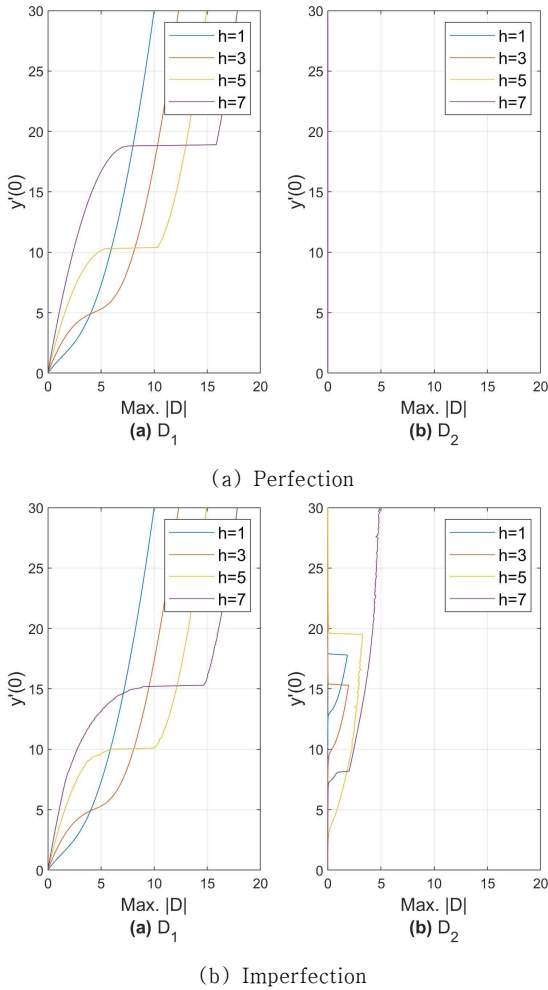


[Fig. 1] Symmetric and asymmetric modes of a shallow arch

그림의 2차 비대칭 변위 성분까지 고려한 무차원화 지배 방정식을 이용하여 해석을 수행하도록 한다. 각각의 파라미터에 대해서는 주기 파라미터를 고려하여 관찰하도록 하며, 임계 주파수의 변화를 푸리에 변환을 통한 스펙트럼을 관찰하여 연구를 수행한다.

### 3. 최대변위 응답과 임계레벨

동적해석을 통한 응답의 최대변위를 살펴보면 다음과 같은 그림의 결과를 얻을 수 있다. 여기서 완전형상에 대한 결과와 불완전 형상에 대한 결과의 차이에서 두 변위성분의 최대변위가 달라지는 것을 살펴볼 수 있다.



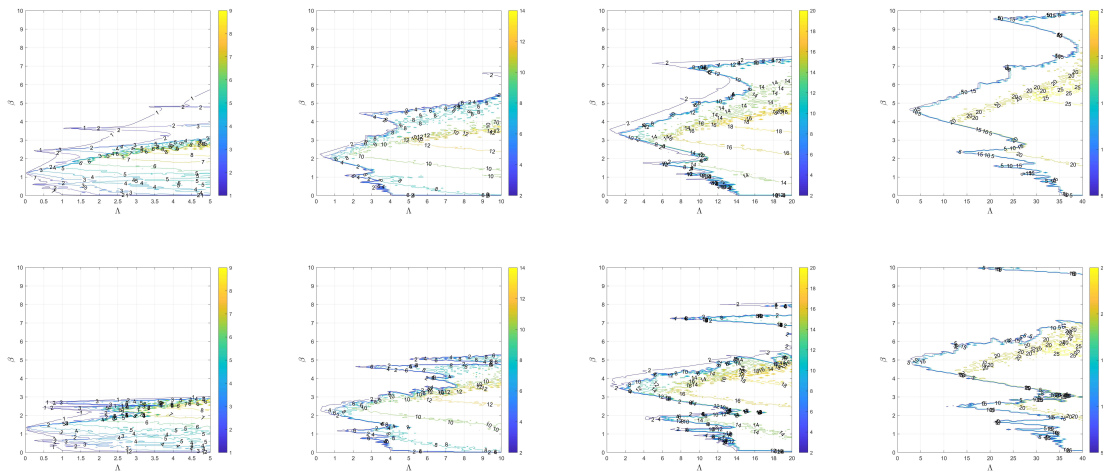
[Fig. 2] Max. displacement of periodic loading condition

### 감사의 글

이 논문은 2019년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2019R1A2C2010693)

### 참고문헌

- [1] Ha, J., Gutman, S., Shon, S. & Lee, S., "Stability of shallow arches under constant load," International Journal of Non-linear Mechanics, Vol.58, pp.120-127, 2014
- [2] Shon, S., Ahn, S., Lee, S., & Ha, J., "A Semianalytical Approach for Nonlinear Dynamic System of Shallow Arches Using Higher Order Multistep Taylor Method," Mathematical Problems in Engineering, Vol.2018, <https://doi.org/10.1155/2018/9567619>
- [3] Shon, S., Ha, J., Lee, S. & Kim, J., "Application of Multistage Homotopy Perturbation Method to the Nonlinear Space Truss Model," International Journal of Steel Structures, Vol.15(2), pp.335-346, 2015
- [4] Shon, S., Ha, J., Pokhrel, B. & Lee, S., "Intrinsic Mode Function and its Orthogonality of the Ensemble Empirical Mode Decomposition Using Orthogonalization Method," Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.19(2), pp.101-108, 2019
- [5] Shon, S. and Ha, J., "Dynamic Instability and Instantaneous Frequency of a Shallow Arch With Asymmetric Initial Conditions", Journal of Korean Association for Spatial Structures, Vol.20, No.2, pp.77-85, 2020



[Fig. 3] Periodic parameter and Max. displacement