

정사각형 용기에 나타나는 비대칭 모드에 대한 고찰

Study on Asymmetric Mode Shapes of a Square Container

정경훈† · 김재용*

Kyeong-Hoon Jeong and Jae-Yong Kim

1. 서 론

사각형 용기는 공학 구조물에 많이 쓰이고 있으며 이에 대한 동특성을 파악은 사각형 용기 구조물의 설계에서 중요한 일이다. 점수 사각형 용기에 대한 이론적인 해석방법을 최근에 Zhou⁽¹⁾와 Jeong⁽²⁾이 발표하였다. 하지만 이들 방법이 정사각형 용기에도 적용될 수 있는지는 확인된 바가 없다. 본 논문에서는 직사각형 용기에서 전개된 이론식이 정사각형 용기에 적용하기에 왜 부적합한지를 밝히고 정사각형 용기에 나타나는 비대칭 (asymmetric) 모드가 왜 나타나는지를 밝히고자 한다.

2. 정사각형 용기 진동모드의 비대칭성

2.1 모드의 대칭성

단면과 재질이 균일한 보에서 양단 경계조건이 동일할 때, 보의 정중양을 기준으로 대칭 (symmetric) 이거나 회전대칭 (anti-symmetric)인 모드 형상을 갖는다는 것은 이미 잘 알려져 있다. 이러한 대칭성은 사각평판이나 원판의 경우에도 대칭축을 기준으로 동일하게 대칭과 회전대칭인 모드가 나타난다. 뿐만 아니라 부분적으로 유체와 접촉하고 있는 원판의 경우도 원판의 대칭축을 기준으로 대칭인 모드와 회전대칭인 모드로 나뉘어 나타나고 있다⁽³⁾.

2.2 사각형 용기의 모드 대칭성

공기중 또는 점수된 직사각형 용기를 해석할 경우에도 Fig. 1과 같이 모드의 대칭성을 이용한 해석이 가능하며 Jeong⁽²⁾이 이론식을 제시하고 유한요소해석으로 그 타당성을 검증하였다. 그렇다면 직사각형 용기의 해석방법에 따라 정사각형 용기의 해석도

동일한 이론을 적용하고, 직사각형의 네 변의 길이가 같도록 정하면 정사각형 용기에 대한 정확한 답이 나올 것인가? 하지만 이는 정확한 접근방식이 아니다. 왜냐하면 대칭축이 직사각형 용기와 정사각형 용기가 다르기 때문이다. Fig. 1에서 나타나는 바와 같이 직사각형 용기의 대칭축은 중앙을 지나는 수평과 수직의 두 직선이 되지만, 정사각형 용기의 경우는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 수평과 수직의 두 직선 뿐만 아니라 대각선으로도 대칭축을 이루게 된다. 따라서 정사각형 용기는 대각선 방향에 대한 대칭모드와 회전대칭 모드가 각각 나타날 수 있다.

2.3 정사각형 용기의 고유진동해석

(1) 허용함수의 선정 및 고유진동수

직사각형 용기에 대한 허용함수가 Jeong⁽²⁾의 논문에 직교다항식으로 제시되어 있다. 이 허용함수의 적용은 정사각형 용기의 대각선 방향에 대한 대칭모드와 회전대칭 모드에 부적절하기 때문에 식(1)과 같은 수평방향 1차 허용함수를 제시하고 Gram-Schmidt process를 적용하여 고차 허용함수를 얻은 다음, Rayleigh-Ritz 방법으로 고유진동수를 구하였다. 여기서 b 는 용기 한 변의 길이를 나타낸다.

$$\phi(\xi) = \xi(\xi - b)(\xi - 2b)(\xi - 3b) \quad (1)$$

(2) 고유진동수와 모드형상의 비교

Table 1에는 직사각형 용기에 사용되었던 다항식 허용함수로 구한 고유진동수와 식(1)의 허용함수를 이용한 고유진동수가 ANSYS 해석결과와 비교되어 있다. Table 1에 나타난 바와 같이 직사각형 이론모델로 구한 고유진동수와 유한요소해석을 비교해 보면서 9차 모드와 13차 모드의 경우 직사각형 용기 이론 모델로 구한 고유진동수와 ANSYS 해석결과에 차이를 보여주고 있지만 식(1)을 이용한 해석에서는 차이가 ANSYS 해석결과와 차이가 줄어든다는 사실을 확인할 수 있다. Fig. 3에서 1, 4, 5, 8차 모드는 대칭축이 수평과 수직의 두 직선이 되지만 2, 3차와 6, 7차 모드는 대각선에 대칭이거나 회전대칭인 모드

† 교신저자: 정회원, 한국원자력연구원

E-mail: khjeong@kaeri.re.kr

Tel: 042-868-8792, Fax:

* 한국원자력연구원

형상을 보여주고 있다.

3. 결론

정사각형 용기의 모드형상과 고유진동수는 직사각형 용기에 적용한 허용함수를 사용하여 구할 경우 잘못된 고유진동수와 모드형상을 추출할 수 있으며 정사각형의 대각선에 대칭인 모드와 비대칭으로 나타나는 모드를 고려해서 고유진동수를 구해야 한다.

참고문헌

- (1) Zhou D. and Liu W., 2007, Hydroelastic vibration of flexible rectangular tanks partially filled with liquid, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, vol. 71, pp. 149-174.
- (2) Jeong K. H., 2011, Hydroelastic vibration analysis of liquid-contained rectangular tanks, *Structural Engineering and Mechanics*, vol. 40, pp. 665-688.
- (3) Jeong K. H., Lee G. M. and Kim T. W., 2009, Free vibration analysis of a circular plate partially in contact with a liquid, *Journal of Sound and Vibration*, vol. 324, pp. 194-208.

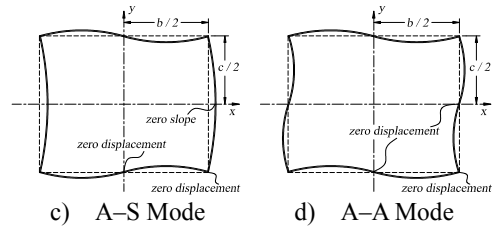


Fig.1 Mode shape category of a rectangular tank

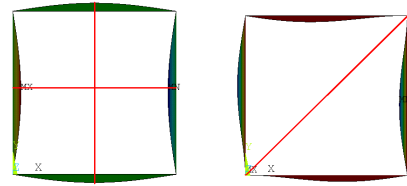


Fig.2 Mode shape category of a square tank

Table 1 Natural Frequencies of Square Tank

Mode	Natural frequency (Hz)		
	Rectangular model	Square model	ANSYS
1	56.8	56.8	57.4
2	79.3	79.6	79.3
3	79.3	79.6	79.3
4	108.3	108.6	108.2
5	149.7	149.7	149.6
6	163.2	164.4	162.9
7	163.2	164.4	162.9
8	181.4	183.4	180.9
9	196.9	189.5	188.5
10	239.1	239.4	234.3
11	239.1	239.4	234.3
12	283.6	282.9	284.2
13	290.2	283.5	285.0

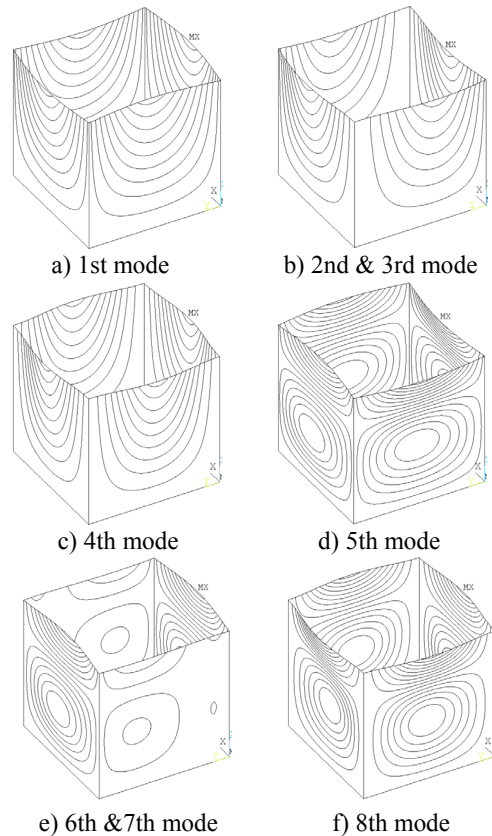


Fig.3 Mode shapes of a clamped-free square tank

