

유체구조상호작용 전산해석을 이용한 튜브 구조물의 진동특성 해석 Analysis of vibration characteristics of submerged tubes using computational fluid structure interaction analysis

김태성* · 이희남† · 윤두병** · 박진호**

Tae Sung Kim, Huinam Rhee, Doo Byung Yoon and Jin Ho Park

1. 서 론

유체 속에서 진동하는 구조물은 주변 유체의 영향으로 인하여 공기 중보다 고유진동수가 낮아진다. 이는 유체 속에서 구조물이 움직일 때 물체뿐만 아니라 주변의 유체의 일부분도 같이 움직이게 되어 구조물이 공기에서 움직이는 것보다 질량이 증가하는 효과, 즉 유체부가질량 효과가 발생하기 때문이다. 일반적으로, 수중에서의 물체의 고유진동수에, 퍼텐셜 유동 이론을 통해 유도한 유체부가질량효과를 반영하여 고유진동수 감소 효과를 예측할 수 있다^(1,2).

본 연구에서는 5개의 2차원 실린더가 배열된 구조물의 진동특성을 관찰하기 위하여 상용 전산유체구조해석코드인 ADINA⁽²⁾를 사용하여 FSI (Fluid Structure Interaction)를 고려한 해석을 수행하였다. 이러한 수중 구조물의 예는 각종 열교환기내의 튜브, 핵연료봉, 해양구조물 등으로 다양하다.

2. 본론

2.1 이론적 유체부가질량

물속에 잠겨있는 튜브 형상 구조물에 대한 유체부가질량은 많은 이전의 연구자들이 이론적으로 유도하였으며 Table 1은 그 일부 결과를 보여준다^(1,2).

Table 1 Theoretical Added Mass⁽¹⁾

| Geometry | Added Mass |
|--------------------|--|
| One Cylinder | $\rho\pi a^2$ |
| Array of Cylinders | $\frac{\rho\pi D^2}{4} \left[\frac{(D_c/D)^2 + 1}{(D_c/D)^2 - 1} \right]$ where $D_c/D = (1 + 0.5 \frac{P}{D}) \frac{P}{D}$ |

2.2 전산 해석 결과 및 고찰

Figure 1 과 같이 수중에 위치한 5개의 실린더 표면에 FSI 조건을 적용하여 모델링한 후 중간에 위치한 튜브에 + Y 방향으로 초기변위를 가하여 자유진동 해석을 수행하였다. 피치 대 직경의 비 $P/D=1.4$ 이며 이는 근사적으로 영광 3,4호기 원전 증기발생기 세관 배열에 해당하는 값이다.

자유진동 해석 결과 Figures 2와 3에서 볼 수 있는 바와 같이 FSI 에 의하여 모든 실린더들이 Y 및 Z 방향으로 진동을 하며, 약간의 차이를 가지는 두 개의 주파수 성분들이 섞여 있기 때문에 맥놀이 발생함을 알 수 있다. 두 개의 주파수 성분이 존재하는 원인은 진동하는 방향에 따라서 인접한 실린더

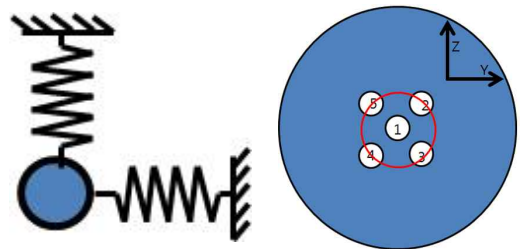


Figure 1 FSI Model of Submerged Tubes

† 이희남; 정희원, 순천대학교 기계우주항공공학부

E-mail : hnrhee@sunchon.ac.kr

Tel : 011-435-6175, Fax : 061-750-3820

* 순천대학교 대학원 우주항공공학과

** 한국원자력연구원

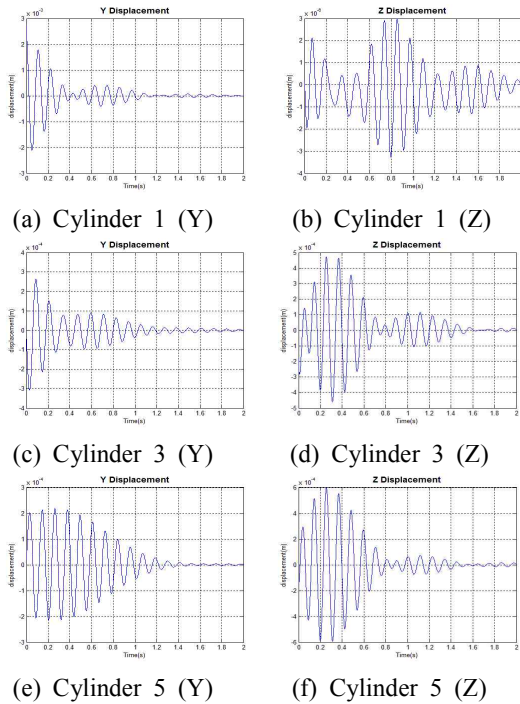


Figure 2 Displacements of Cylinders

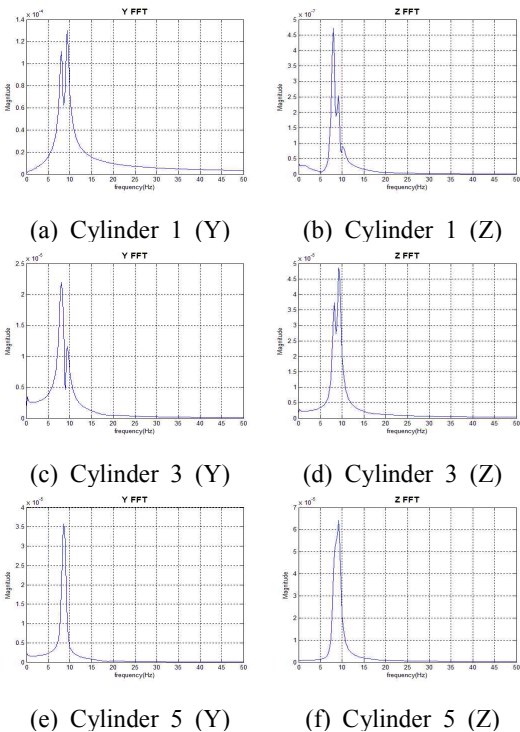


Figure 3 Vibration Spectrum of Cylinders

Table 2 Frequencies of cylinders

| No. | FSI Analysis(Hz) | Theory(Hz) | Error(%) |
|-----|------------------|------------|-------------|
| 1 | 8, 9.4 | 8.4 | -4.8%,11.9% |
| 2 | 8, 9.4 | - | - |
| 3 | 8, 9.4 | - | - |
| 4 | 8.6 | - | - |
| 5 | 8.6 | - | - |

의 개수와 거리가 다르므로 오른쪽 또는 왼쪽으로 움직일 때 유체-구조상호작용 효과에 차이가 있고 인접 실린더들의 상대 운동 방향에 따라서도 변화가 있으며 그에 따라 유체부가질량이 다르기 때문이다. Table 2에서 볼 수 있는 바와 같이 실린더 1의 주파수는 8 Hz 및 9.4 Hz 로서 참고문헌⁽¹⁾의 이론식에 비해 약 -5%~12%의 차이를 보인다. 이론식은 실린더들 간의 거리가 변하지 않는다는 조건, 즉 $P/D=1.4$ 가 일정하다는 가정 하에 구해진 것이므로 실제와는 차이가 있다. 참고문헌⁽³⁾에 의하면 수중에 한 개의 실린더만이 존재하는 경우에는 운동 방향에 무관하게 약 8.7 Hz의 고유진동수를 갖는다.

3. 결 론

수중에서 진동하는 5개 실린더군의 진동 특성을 유체구조상호작용을 고려한 진산해석을 통하여 분석하고 이론값과 비교하였다. 본 연구방법은 복잡한 구조물에 대하여 유체구조상호작용을 적용한 진동해석을 수행하기 위한 기본 자료로 사용가능 하다.

후 기

한국원자력연구원의 지원에 감사드리며 ADINA 를 제공하여 주신 (주)에이블맥스에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) R.D.Blevin, 1990.“Flow-Induced Vibration”, 2nd ed., Van Nostrand.
- (2) ADINA. ver 8.7.
- (3) 이희남 외 1인, “수중에서 진동하는 2차원 튜브 구조물의 유체부가질량”, 2010 한국군사과학기술학회 학술대회.