

## 고정-자유 수직 원통형 쉘의 고유 진동 실험

### Natural Vibration Experiment for a Clamped-Free Vertical Cylindrical Shell

허유\* · kwak문규† · 양동호\* · 구재량\*\* · 배춘희\*\*

Ru HE, Moon K. Kwak Dong-Ho Yang, Jae R. Koo and Bae Chun Hee

#### 1. 서론

일반적으로 구조물이 물과 접하고 있는 상태에서 진동하는 경우 물의 영향으로 인해 구조물의 고유진동수가 낮아지게 된다. 이런 물의 영향을 부가수질량(Added Virtual Mass) 효과라고 부르는데 부가수질량 효과를 이론적으로 계산하기 위해서는 구조물의 운동방정식과 물의 유동방정식을 결합한다. 비교적 단순한 구조물에 대해서는 이와 같은 이론 해석이 가능하지만 복잡한 구조물에 대해서는 유한요소법이나 경계요소법을 사용한다. 이론해석 결과를 검증하기 위해서는 실험을 수행하기도 하는데 실험 연구 또한 쉽지 않은 작업을 동반한다.

본 연구의 대상인 화력발전소에서 사용하는 수중 펌프의 경우 연직 방향으로 거꾸로 매달린 쉘 구조물의 형태로 이론적인 해석이 가능하다. 화력 발전소에서 조석 간만의 차에 의해 수중 펌프 구조물의 진동의 크기가 변화되는 것이 보고되었는데 이론적으로는 위에서 설명한 부가수 질량 효과로 인해 고유진동수가 변화되는 것으로 설명되었다.

본 연구에서는 고정-자유 원통형 쉘 구조물에 대한 이론 연구를 수행하고, 동시에 부분 몰수된 경우를 고려해 물의 부가수질량 효과를 실험으로 증명하고자 한다. 고정-자유 원통형 쉘 구조물에 대한 이론 결과는 Sanders 이론에 근거한 Rayleigh-Ritz 방법을 사용하여 구하고 포텐셜 이론에 근거한 부가수 질량 계산 방법을 사용하였다. 실험을 위해 얇은 원통형 쉘을 그림 1 과 같이 매달고 이를 물통에 넣어 물 높이에 따른 고유진동수 변화를 계측하였다.

#### 2. 고유 진동수 계측 실험

그림 1 은 실험을 위해 제작한 고정-자유 원통형

쉘 구조물과 실험 장치를 보여주고 있다. 본 연구에 사용한 알루미늄 쉘의 두께는 1.1mm 이며 내경은 10.55mm, 길이는 478mm 이다. 또한 알루미늄의 물성치는  $\rho = 2770\text{kg/m}^3$ ,  $E = 70\text{Gpa}$ ,  $\nu = 0.3$  이다. 원통형 쉘을 그림 2 와 같이 2mm ~ 50mm 까지 부분 몰수하여 실험하고 50mm 이상부터는 50mm~400mm 까지 실험하였다. 실험 방법은 양동이의 바닥에서 원통형 쉘을 5mm 정도의 간격을 주고 다음 2mm 을 물을 채우고 실험을 진행하였다. 이렇게 2mm 씩 순차적으로 물을 채우면서 50mm 까지 실험 하 50mm 부터는 50mm 씩 순차적으로 물을 채우면서 400mm 까지 실험을 진행하였다. 실험을 통해 원통형 쉘의 고유진동수가 몰수됨에 따라 급격하게 변화됨이 관찰되었다.

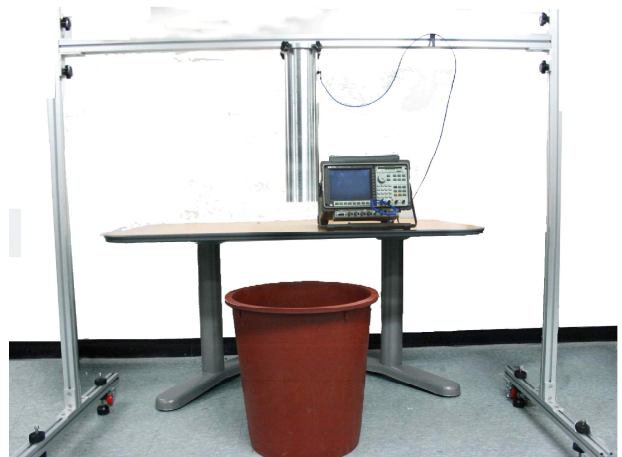


Fig. 1 Experimental for cylindrical shell

그림 2 는 원통형 쉘의 고유 진동수를 계측하기 위하여 쉘에 가속도계[MODEL: 353B15, SENSITIVITY: 10.83mV/g (1.104mV/m)]를 부착하고 모두 같은 위치에서 Impact Hammer 를 이용하여 가진하고 가속도계의 신호를 HP 사의 Dynamic Signal Analyzer 를 이용하여 고유진동수를 측정하였다.

† 교신저자; 정희원, 동국대학교 기계로봇에너지공학과  
E-mail : kwakm@dongguk.edu

Tel : (02) 2260-3705, Fax : (02) 2263-9379

\* 동국대학교 대학원 기계공학과

\*\* 한국전력공사 전력연구원

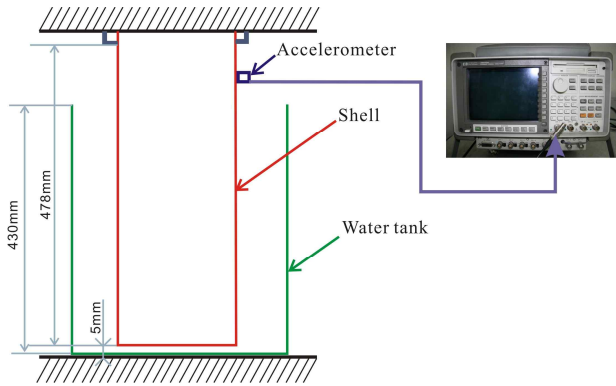


Fig. 2 Vibration experiment equipment

곽 [곽문규, 부분 몰수된 고정-자유 실린더 쉘의 고유 진동 특성, 한국소음진동공학회 2009 년 추계 학술대회논문집, pp 629 ~630]의 쉘의 고유진동수 수치해석에 대한 수치값은 다음과 같다.

$$L = 9m \quad R = 1.2m \quad h = 0.015m \quad \nu = 0.26$$

$$\rho = 8000kg / m^3 \quad E = 193Gpa \quad \rho_f = 1000kg / m^3$$

이 값을 이용해 계산한 고유진동수 값이 그림 5,7 과 같이 보여진다.

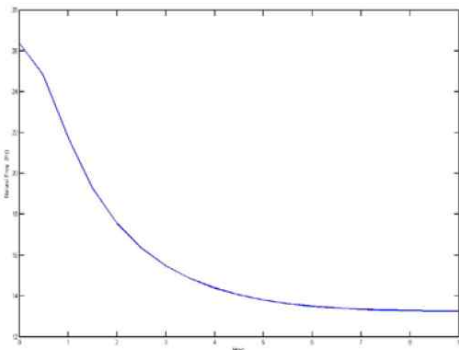


Fig. 5 Natural Frequency 1st Water Depth ( Numerical Analysis )

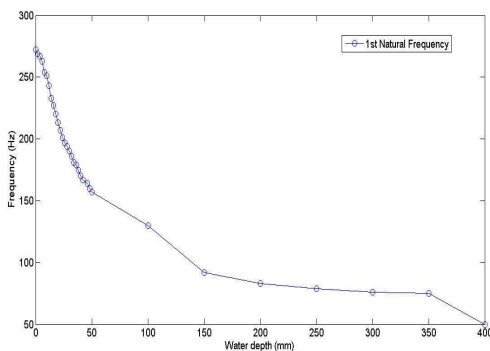


Fig. 6 Natural Frequency 1st Water Depth ( Experimental )

그림 3,4 와 5,6 에서는 실험과 수치계산으로 구한 1 차고유 진동수와 2 차 고유진동수를 각각 보여주고

있다. 위의 결과에서 알 수 있듯이 각 원주방향 모드 1 차 고유진동수는 물의 높이가 작더라도 크게 변화함을 알 수 있다. 물의 높이가 쉘 길이의 반정도가 되면 고유진동수의 변화는 크지 않음을 알 수 있다.

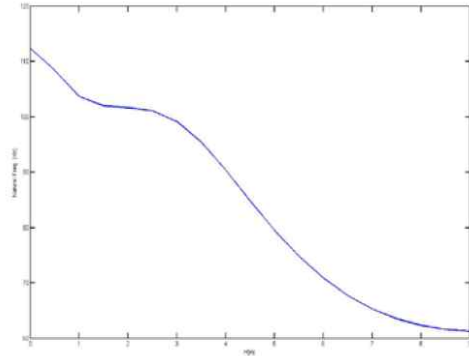


Fig. 7 Natural Frequency 2st Water Depth ( Numerical Analysis )

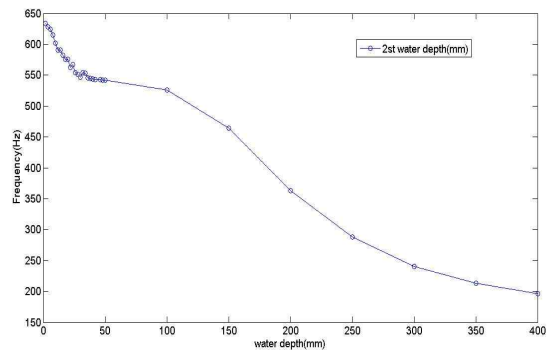


Fig.8 Natural Frequency 2st Water Depth ( Experimental )

### 3. 토의 및 결론

본 연구에서는 부분적으로 유체와 접한 고정-자유 원통형 쉘의 고유진동수를 실험을 통해 계측하고 물의 높이에 따른 고유진동수 변화를 관찰하였다. 관찰 결과는 물의 높이가 커짐에 따라 고유진동수에 급격한 변화가 일어남을 알 수 있었다. 계측한 실험 데이터를 수치해석과 비교하여 수치해석 결과가 실험 값과 비슷하다는 것을 알 수 있다. 그러나 물통의 내경이 쉘의 내경과 비교했을 때 크지 않아 벽면의 효과가 있는 것으로 생각되었는데 차후 좀 더 많은 실험을 통해 벽면의 효과를 검증할 계획이다. 또한, 이론 결과와의 비교를 통해 이론 예측 방법의 타당성도 검증할 예정이다.