

Free Vibration Analysis of a Hanged Clamped-free Cylindrical Shell Partially Submerged in Fluid

배춘희* · 양경현* · 조성태* · 곽문규**

1. 서 론

대용량 발전소에서 전력을 생산하기 위하여 터빈을 회전시키는데 고온고압의 증기가 사용되고 있다. 장기간 동안 지속적으로 터빈을 회전시키기 때문에 많은 양의 증기가 필요하며 대용량 보일러에서 순수에 열을 가하여 증기를 생산하고 있다. 그러나 용수를 순수로 만드는데, 많은 비용이 소요되기 때문에 터빈에서 일을 마치고 나온 혼합증기를 상온으로 냉각하여 다시 사용하는 폐회로방식을 사용하고 있으며, 이 냉각수로서 바닷물이 사용되고 있다. 바닷물을 냉각수로 사용하기 위해서 대형 수직펌프가 사용되는데, 보통 펌프 양수관의 길이가 10m 이상으로 매우 길고, 해수 수위 간만의 차가 5m 이상 되어 펌프 하부 양수관에서 많은 진동 문제가 발생하고 있다. 특히 펌프가 설치되는 취수구 특성에 따라 여러 가지 진동 문제가 발생되고 있다. 따라서 본 연구에서는 물속에 잠긴 펌프에 대해 취수구 특성에 따라 유체-구조 연성해석을 수행하고,

Rayleigh-Ritz 방법과 부가질량 행렬접근법을 이용하여 바닷물 수위변화에 따른 고유진동 해석을 수행하여 여러 취수구 특성에 따라 펌프의 동특성이 변화되는 특성을 규명하였고, 실험을 통해 비교 검증하였다.

2. 수치해석

2.1 공기중 실린더 셸의 운동에너지와 탄성에너지
아래 그림 1과 같은 Shell은 Shell의 반경(R), 두

께(h), 길이(L), 수직축에 대하여 계측된 각도(θ), 실린더 길이를 따라가는 축(x), 각방향, x , θ 와 z 의 변위인 u, v, w 로 구성되어 있다.

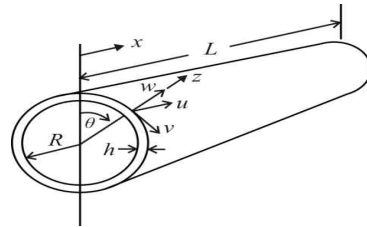


Fig. 1 Coordinate of Shell

변위를 각각의 원주방향 모드와 관련된 n개의 함수로 표현했기 때문에 공기 중 Shell의 운동에너지와 탄성에너지는 아래와 같이 유도된다[Kwak et al.(2009)].

$$T_{sn} = \frac{1}{2} (\dot{q}_{nu}^T M_{uu} \dot{q}_{nu} + \dot{q}_{nv}^T M_{vv} \dot{q}_{nv} + \dot{q}_{nw}^T M_{ww} \dot{q}_{nw})$$

$$V_{sn} = \frac{1}{2} q_{nu}^T K_{nuu} q_{nu} + \frac{1}{2} q_{nv}^T K_{nvv} q_{nv} + \frac{1}{2} q_{nw}^T K_{nww} q_{nw} + q_{nu}^T K_{nuv} q_{nv} + q_{nv}^T K_{nvw} q_{nw} + q_{nw}^T K_{nvw} q_{nw}$$

2.2 유체-구조 연성

속에 잠긴 펌프는 아래 그림과 같이 표현되고

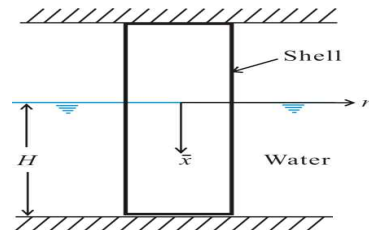


Fig. 2 Cylindrical Shell Partially Immersed in Water

† 주저자 소속: 한전 전력연구원
E-mail : baech@kepeco.co.kr
Tel : 82-42-865-7555, Fax : 82-42-865-7539
* 공동저자1의 소속: 한전 전력연구원
** 공동저자2의 소속:

n 번째 원주 방향모드에 대한 총 운동에너지는 쉘의 운동에너지와 유체의 운동에너지를 합한 것으로 되며 다음과 같이 표현된다.

$$T_n = \frac{1}{2} \left[\dot{q}_{nu}^T M_{uu} \dot{q}_{nu} + \dot{q}_{nv}^T M_{vv} \dot{q}_{nv} + \dot{q}_{nw}^T (M_{ww} + M_{fwn}) \dot{q} \right]$$

2.3 고유치

물속에 잠긴 Shell의 운동에너지와 탄성에너지를 Lagrange's Eq.에 적용하면 실린더 쉘의 n 차 원주 방향 모드에 대한 자유진동 문제가 다음 식으로 유도된다.

$$(M_a + M_f) \ddot{q}_n + K_n q_n = 0, \quad n = 1, 2, \dots$$

여기서 공기 중에서의 모드가 수중에서 변하지 않는다는 가정을 사용하면 물속에 잠긴 Shell의 고유진동수는 아래와 같이 간단하게 표현된다.

$$(\omega_{fn})_i = \frac{(\omega_{an})_i}{\sqrt{1 + \frac{\gamma \delta}{\alpha} \Gamma_{ni}}}, \quad n, i = 1, 2, \dots$$

여기서 $\Gamma_{ni} = (\bar{M}_{fn})_{ii}$ 는 무차원화된 부가수 질량 증분(NAVMI) 인자이다.

2.4 수치해석

현재 화력발전소 발전소에서 운영되고 있는 아래 제원, $L = 1000\text{mm}$, $R = 24.6\text{mm}$, $h = 1.6\text{mm}$, $\nu = 0.3$, $\rho = 7750 \text{ kg/m}^3$, $E = 200 \text{ GPa}$ 의 펌프에 대하여 수치해석을 한 결과 펌프가 잠긴 물 높이에 따라서는 49% 낮아졌으나, 펌프 바닥에서부터 벨마우스까지 거리에 따라서는 Fig.2에서 알 수 있듯이 50mm 이하에서만 저감되고 그 이상에서는 거의 변화가 없었다. 또한 펌프에서 취수구 벽까지의 거리에서는 Fig. 3 에서와 같이 500mm까지는 30% 까지 낮아지나, 그 이상에서는 거의

일정함을 알 수 있었다. 그러나 펌프 축과 Shell과의 거리에 따라서는 거의 변화가 없음을 규명하였다.

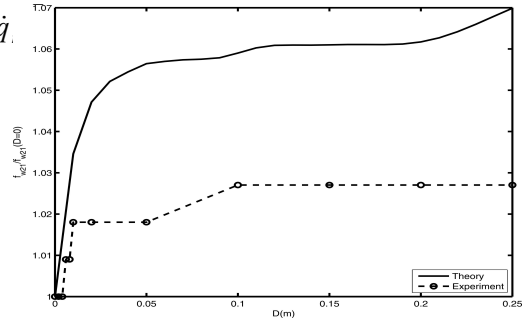


Fig.2 Natural frequency ratio vs. water gap

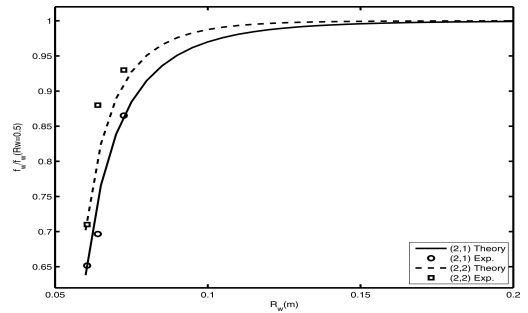


Fig. 3 Natural frequency ratios vs. radius of external wall

3. 결 론

1. 물속에 잠긴 펌프의 동특성을 Shell 모델을 생성하여 해석하였다
2. 펌프 양수관이 물속에 일정수위(4m) 이상 잠기게 되면 고유진동수가 50% 정도 낮아지며 그 이상 잠기게 되면 낮아지는 비율이 감소한다
3. 펌프 양수관 과 취수구 벽까지의 거리에 따른 고유진동수는 500mm까지는 30% 정도 낮아지나 그 이상의 거리에서는 거의 일정하다
4. 펌프 설치 바닥면과 벨마우스까지의 거리에 따른 고유진동수는 50mm 이하의 거리에서만 3% 정도 변하고 그 이상에서는 거의 변화가 없다.