

실물 시험 기반 대형 수직 펌프의 진동 예측 정확도 개선

Improvement of Vibration Prediction Accuracy of Large Vertical Pump based on In-situ Test

서운호† · 정석현* · 김원현* · 이종문*

Yun-Ho Seo, Seok-Hyeon Jeong, Won-Hyun Kim and Jong-Moon Lee

1. 서론

수직 펌프는 외팔보 형태의 구조 때문에 수평 펌프에 비해 진동에 취약한 것으로 알려져 있다. 또한 펌프가 대형화 됨에 따라 리드 주파수(reed frequency)라 불리는 구조물의 첫 번째 고유진동수가 감소하고 운전 속도도 일반적으로 감소하므로 공진 가능성이 상존하게 된다. 그러므로, 초기 설계 단계에서 고유 진동수를 미리 예측하여 공진을 회피하도록 설계하는 것이 매우 중요하다. 이를 위해서는 정확한 고유진동수 예측이 필요한데 본 논문에서는 예측 모델 정확도에 영향을 주는 여러 인자들을 살펴보고 그 값을 도출하였다. Fig. 1 에 일반적인 대형 수직 펌프의 모습 및 각 부 명칭을 나타내었다.

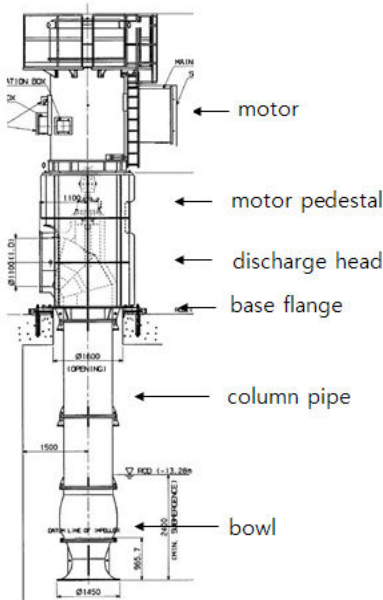


Fig. 1 대형 수직 펌프의 구조

2. 펌프 고유진동수 계측

3 종류의 대형 수직 펌프에 대해 현장 설치 조건에서 충격 시험을 통한 고유진동수를 계측하였다. 특히 1 대의 펌프에 대해서는 사람의 접근이 어려운 column pipe 와 bowl 부분에 수중 가속도계를 설치하여 하부 구조의 고유진동수 및 모드 형상도 계측하였다. Fig. 2 에 그 모습을 나타내었고 Table 1 에는 계측 대상 펌프들의 기본 제원과 계측된 리드 주파수를 나타내었다.



Fig. 2 충격 시험 및 수중 가속도계 설치

Table 1 펌프 제원 및 계측 리드 주파수

펌프종류	총중량 (kgf)	유량(m ³ /hr)	리드 주파수 (Hz)
CWP	30,850	10,735	15
ACWP	18,700	5,766	18
BRP	110,750	12,740	6.6 / 9.5*

* column pipe 1st mode frequency / reed frequency

CWP : Circulation water pump

ACWP : Auxiliary circulation water pump

BRP : Brine re circulation pump

3. 고유진동수 예측에 영향을 주는 인자

3.1 펌프 구조 모델링 방법

펌프 구조물은 간단히 보(beam) 형태로 모델링

† 현대중공업 선박해양연구소
E-mail : yhseo96@hhi.co.kr
Tel : (052) 202-3942, Fax : (052) 202-5495
* 현대중공업 선박해양연구소

하여 고유진동수를 예측해 왔으나 대형 수직 펌프에서는 여러 부재들의 강성을 자세히 고려할 수 없는 단점을 지니고 있다^[1]. 그러므로, 본 논문에서는 각각의 부재를 2 차원의 쉘 요소로 모델링하여 구조 및 보강재 강성이 정확히 평가되도록 했다. 축 또한 보요소로 모델링하여 펌프 구조와 베어링 모델을 통하여 연결하였다.

3.2 유체의 영향

운전중인 펌프의 column pipe 또는 discharge pipe 내, 외부는 유체와 접해 있다. 이러한 유체의 부가수 질량(added mass) 영향을 고려하기 위해 BEM(boundary element method)과 같은 방법을 적용할 수 있으나, 많은 계산 시간을 필요로 하고 실제 계측을 통해 검증된 방법은 찾기 어렵다. 본 논문에서는 물에 잠기는 column pipe 내부 유체 질량만 고려하여 하부 구조에 분포 질량으로 고려하였고 계측 결과 및 모델 조정을 통해 효과적임을 확인하였다.

3.3 수운할 베어링 강성의 영향

펌프 축의 수운할 베어링 강성도 고유진동수에 영향을 주나 Fig. 3 과 같이 강성 변화에 따라 고유진동수가 수렴하는 결과를 보여주고 있다.

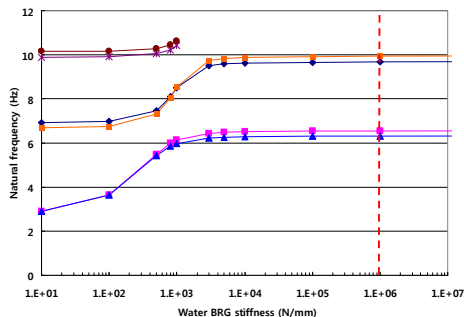


Fig. 3 수운할 베어링 강성에 따른 고유 진동수

1.0E4 N/mm 이하에서는 큰 고유진동수의 변화를 보이나, 그 이상에서는 변화가 거의 없음을 확인할 수 있다. 그러므로 참고문헌 [1]에 사용한 1.0E6 N/mm 값이 적절한 것으로 판단하였다.

3.4 고정 볼트 강성

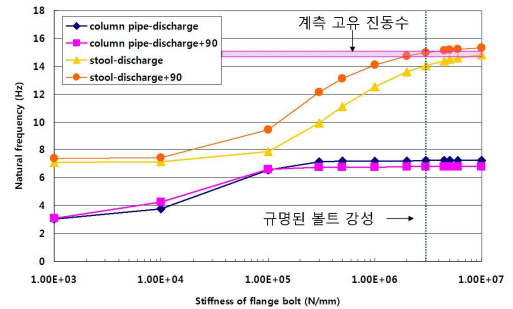
펌프 플랜지의 고정 볼트 강성은 펌프 고유진동수 예측에 가장 큰 영향을 준다.

$$k = \frac{AE}{l_b + 0.5d} \quad (1)$$

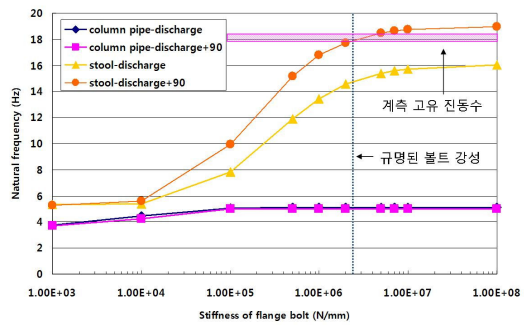
일반적으로 볼트 강성은 식 (1)^[2]을 사용하며 A ,

E , l_b , d 는 각각 볼트 단면적, 탄성 계수, 볼트 길이, thread 지름을 나타낸다. 하지만, 설치된 볼트는 체결 토크에 의한 예하중(preload)이 작용하고 있기 때문에 실제 강성은 식 (1)에 의해 계산된 값보다 클 것으로 예상하였다.

이를 규명하기 위해 Fig. 4 와 같이 볼트 강성 변화에 따른 고유진동수 변화를 파악하여 CWP, ACWP 의 계측된 고유진동수와 일치하는 점으로부터 고정 볼트의 강성을 구할 수 있었다.



(a) CWP



(b) ACWP

Fig. 4 설치 볼트 강성에 따른 고유 진동수

그 결과 볼트 강성이 식(1)의 결과보다 약 2 배의 값을 파악할 수 있었다.

4. 결론

본 논문에서는 대형 수직 펌프의 고유진동수 변화에 영향을 미치는 여러 인자들을 고찰하였고 그 결과 고유진동수 예측 정확도를 향상 시킬 것으로 기대된다. 다만 이러한 인자들은 서로 상관관계에 있으므로 향후 지속적인 연구가 필요하다.

참고 문헌

- (1) 양보석, 김원철, 임우섭, 권명래, “입형펌프의 동적 응답 해석,” 대한기계학회논문집, 제 13 권, 제 3 호, pp. 362-372, 1989.
- (2) J. H. Bickford, Sayed Nassar, Handbook of Bolt and Joint, Marcel Dekker, New York, 1998.