

수위변화에 따른 수직형 펌프의 진동 발생 사례 고찰

A Case Study on Vibration of Vertical Pumps according to Changing Water Level.

송애희[†] · 송진대* · 김현식* · 정기철*

Song Ae Hee, Song Jin Dae, Kim Hyeon Sig and Jung Gi Chul

Key Words : 화력발전소(Thermal Power Plant), 수직형 펌프(Vertical Pump), 수위(Water Level), 깃통과주파수(Vane Passing Frequency)

ABSTRACT

Vertical pumps are structurally weak in terms of vibration because of installed heavy motor on top of the pumps in form of cantilever. So high vibration on top of the pumps can occur with low vibration in the bottom. These vibration problems experienced very frequently. Majority of studies have been related to the unbalance of rotating parts or structural resonance. In this paper, we introduce an unusual case, vibration variation caused by VPF(Vane Passing Frequency) according to water level.

1. 서 론

화력 발전소에서는 해수를 Pumping 하여, 응축수 계통에 냉각수를 공급하기 위한 순환수펌프(Circulating Water Pump)가 사용된다. 순환수펌프는 항상 일정한 냉각수를 공급해 줄 수 있어야 하며, 조수간만의 차이가 큰 지역(우리나라 서해안)에서는 해수 양수펌프(Seawater Lift Pump)를 적용하여 CWP의 intake에 해수를 공급하여 일정한 수위가 유지되도록 한다. 이러한 SLP는 CWP와 마찬가지로 수직형 펌프가 사용되며 서해안에 설치되어 있는 수직형 펌프는 조수간만의 차이에 따라 특이한 진동 특성을 보이는 경우가 있다. 본 논문에서는 수위변화에 따라 입형펌프에서의 진동 특성이 변화하는 사례를 소개하고자 한다.

2. 펌프 사양 및 진동 발생 현상

2.1 펌프 사양

Table 1 Specification of Pump

구분	내용
펌프 형식	입형, 사류
용량	20000 m ³ /h
압력	17 m
회전수	395 rpm (6.58 cps)
사용 유체	해수

2.2 진동 발생 현상

일반적으로 화력발전소 1기당 4대의 해수양수펌프(SLP)가 설치된다. 본 발전소에 설치된 4대의 SLP 중 각 2대(A&B호기, Support 없음)/2대(C&D, Support 있음, 가변운전)가 구조 및 설치 조건이 다르며 이 중 1대의 진동기 하부 베어링 하우징에서 Trip(7.1mm/s)을 초과하는 진동이 발생하였다. 따라서 본 논문에서는 문제가 된 펌프와 동일한 운전 조건 및 구조를 갖는 2대(A, B호기)에 대해서만 고려하도록 한다.

[†] 교신저자; 정회원, 효성굿스프링스(주)

E-mail : ahsong@hyosung.com

Tel : 055-279-7819, Fax : 055-279-7947

* 효성굿스프링스(주)

3. 진동 측정

(1) 운전 중 진동 측정: 수위 변화에 따른 진동 변화 경향을 파악하기 위해 장시간 진동 데이터를 확보하였다.

- 수위 변화를 감안하여 12 시간 이상 측정
- Run Up / Run Down Test 포함
- Figure 1에 진동신호가 측정된 위치 제시

(2) 충격시험 (저수위/고수위): 공진의 영향을 파악하기 위해 충격시험을 저수위와 고수위 때에 수행하였다.

4. 진동 특성

4.1 조수 변화에 따른 진동 변화

Figure 2는 A호기의 수위변화에 따른 진동 변화를 보여준다. (a)Overall 경향에서 전동기 상부로 갈

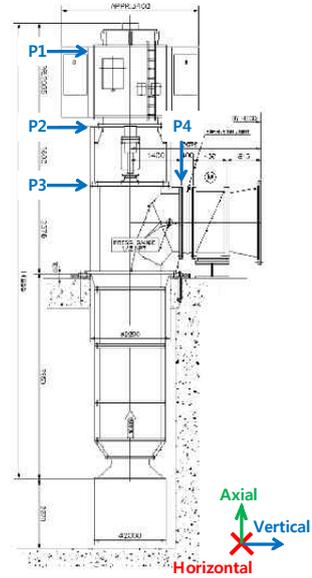
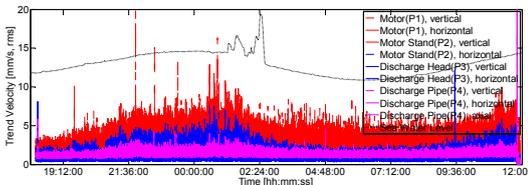
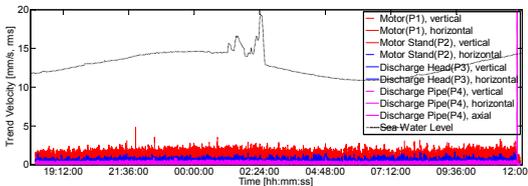


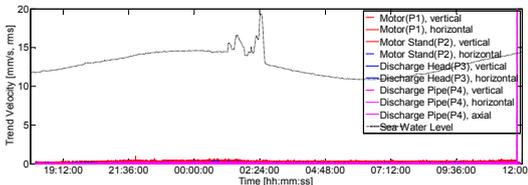
Figure 1 Sensor Position



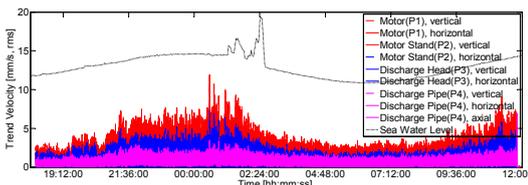
(a) Overall



(b) 1X

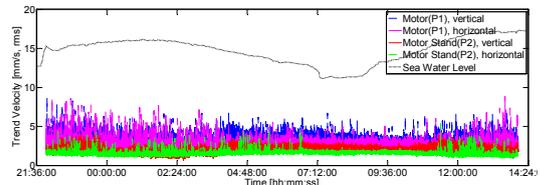


(c) 2X

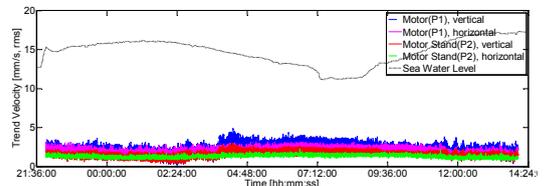


(d) 5X (VPF)

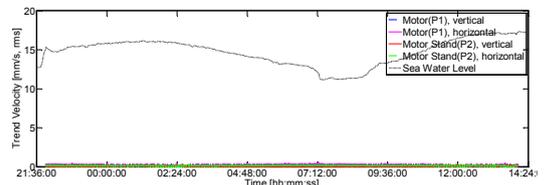
Figure 2 Vibration trend according to changing Water Level (Pump A)



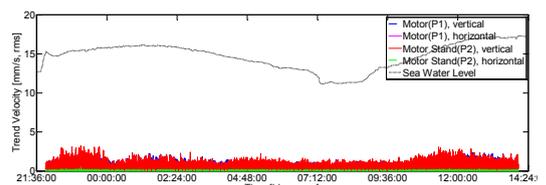
(a) Overall



(b) 1X



(c) 2X



(d) 5X (VPF)

Figure 3 Vibration trend according to changing Water Level (Pump B)

수직 진동이 높으며, 수평방향에 비해 수직방향 진동이 높음을 알 수 있다. 따라서 운전 중 지배적인 진동 모드는 수직 1차 강체 모드로 판단된다.

운전속도에 대응하는 1X 성분은 수위에 따른 변화가 거의 없으며, 운전속도 2배에 대응하는 2X 성분은 전체 Overall 값에 거의 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

5X (깃통과주파수) 성분은 수위에 따라 변화가 크며, 문제의 수직방향 성분은 Overall 값과 5X값의 차이가 미미하다. 즉, $32.9\text{Hz} = 6.58\text{Hz}(\text{운전주파수}) \times 5(\text{깃배수})$ 가 전체 진동의 지배적인 성분임을 알 수 있다.

Figure 3은 B호기의 수위변화에 따른 진동 변화를 보여주며, A호기와 비교하였을 때 수위 변화의

영향을 거의 받지 않으며 주요 주파수 성분은 1X인 것을 알 수 있다.

4.2 진동의 주요 성분

속도 스펙트럼 분석을 통해 발생하는 진동의 주요 성분을 분석하였다.

Figure 4와 Figure 5의 속도 스펙트럼에서 보는 것과 같이 A호기는 수직방향 진동이 높으며, VPF가 주요 진동 성분임을 확인 할 수 있으며, B호기는 1X가 주요 진동 성분이며, 전체적인 진동치가 크지 않음을 알 수 있다. A호기와 B호기를 비교하였을 때, A호기가 B호기에 비해 1X 성분은 작으나 5X 성분이 매우 크게 나타난다.

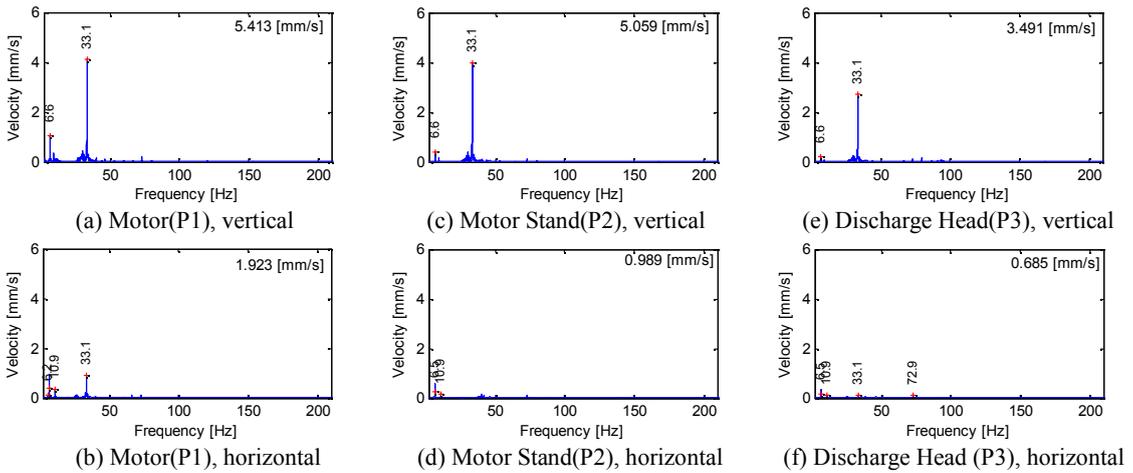


Figure 4 Vibration Spectrum of Pump A

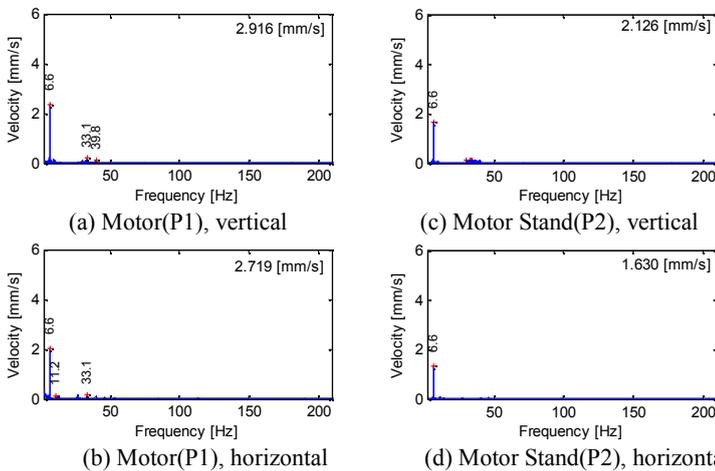


Figure 5 Vibration Spectrum of Pump B

4.3 충격 시험

저수위와 고수위 일 때 각각 충격시험을 수행하였다. Sump 내 펌프 하단 부는 접근이 용이하지 못해 경향과약을 위해 취득한 신호 위치(Figure 1)와 동일한 위치에서 취득하였다.

Table 2에서 확인 할 수 있는 것과 같이 고유진동수는 수위에 따라 큰 변화가 없었으며, 동일한 구조를 갖는 A와 B의 고유진동수 차이는 무시할 수 있는 수준이었다.

4.4 모드 해석

충격 시험 결과와 해석 결과 비교를 통한 모드 확인 및 공진 가능성 여부 확인을 위해 모드 해석을 수행하였다.

(1) 해석 경계 조건

Water Level(High)에 따른 Added mass 효과 및 상부 모터를 고려하였으며, Base Plate 볼트 부 고정 조건을 적용하였다.

(2) 해석 모델 검증

수위에 따른 고유진동수 변화가 거의 없어 동일 조건으로 해석하였으며, 오차 1Hz 이하로 해석 모델의 정확성을 검증하였다.

(3) 해석 결과

하단부(하부 양수관, 축보호관)가 진동하는 모드는 하단의 신호를 받지 못한 충격 시험으로는 확인하기 어렵다. 상대적으로 모터대-모터가 진동하는 모드는 충격 시험 및 해석 결과와의 오차가 거의 나타나지 않으며 이를 통해 펌프의 고유진동수 및 모드형상을 정확히 예측 할 수 있다.

Table 2 Natural Frequency of Pump

Natural Frequency (Hz)			Mode		
Test		Analysis	Part	Shape	Direction
저수위	고수위				
-	-	5.54	하부	1차	horizontal
-	-	5.81	양수관	강체	vertical
11.30	11.00	11.76	모터대	1차	horizontal
9.50	9.30	9.39		굽힘	vertical
-	-	12.54	축보호관	1차	horizontal
-	-	14.18		굽힘	vertical
38.00	37.70	38.35	모터대	2차	horizontal
				굽힘	

※ vertical : 토출 방향 / horizontal : 토출에 수직인 방향

5. 추정 원인 및 대책

5.1 추정 원인

(1) 공진

수직방향의 모터 상부에서 진동이 높게 나타나는 현상으로부터 공진을 의심할 수 있다. 그러나 일반적으로 공진이라면 특정 수위에서 높은 진동이 발생하여야 하나 이 경우는 전체 수위 변화에 따라 진동 크기가 변하나 특정 수위에서 높아지지는 않는다. 38 Hz 의 모터대 모드의 공진이라면 수위변화와 진동변화가 설명이 가능하나, 실험 및 해석 결과에서 수위 변화에 따라 고유진동수 변화가 미미하였고, 주요 주파수 성분인 33Hz와는 충분한 분리여유가 있는 것으로 판단된다. 따라서 공진에 의하여 고진동 발생할 가능성은 낮다고 판단된다.

(2) Cavitation /Suction Recirculation

구조적인 문제가 아니라면 발생하는 주파수 성분이 깃통과주파수(VPF)이므로 Impeller 에서 발생하는 유체력 자체의 변화에 의한 진동 발생을 의심해 볼 수 있다. 그러나 수위가 높아지면 흡입압 조건이 유리해 지므로 수위증가와 진동증가가 동반상승/하강하는 현상을 감안하면, suction 부에서 발생하는 Cavitation/Suction Recirculation 이 원인일 가능성은 낮다고 판단된다.

(3) 압력 맥동

그렇다면 Impeller의 토출(discharge)쪽에서 발생하는 압력 맥동에 의한 진동 일 가능성이 높은 것으로 판단된다. 수위증가는 흡입압의 증가를 가져오고 이는 Impeller의 토출부에서 절대압 자체를 높이며 VPF 로 나타나는 동압을 증가시키는 원인으로 작용할 수 있다.

5.2 점검 사항 및 대책

(1) 설계적인 측면

동일한 2대의 펌프 중 1대만 진동이 발생하고 있으므로 설계적인 결함에 의한 가능성은 낮다고 판단된다.

(2) 설치 및 제작상의 측면

- 회전차와 케이싱 사이의 틈새 확인 : VPF는 케이싱과 회전차 외경부와의 틈새에서 발생하는 압력 맥동에 의해 발생하므로 이 부분에 대하여 10% 여유를 두는 것이 일반적이다. 따라서 이보다 틈새가 작을 경우 틈새를 확보 할 수 있는 방안을 찾는 것이 필요하다.

- Alignment : 축 정렬이 불량일 경우 편심되어 회전하는 축에 의한 케이싱-회전차 틈새가 일정하

지 못하여 VPF에 의한 진동이 높아 질 수 있다.

(3) 운전 / Maintenance

- 베어링 마멸 정도 확인 : 베어링의 과대 마멸의 경우 축의 진동을 증가시키고 이러한 축의 과대 휘둘림 진동이 VPF에 의한 압력맥동을 증가 시킬 수 있다.

6. 결 론

회전기계에서 회전성분(1X)가 발생할 수 밖에 없는 것처럼 펌프에서는 깃통과주파수(VPF) 발생하는 것은 당연하다. 그러나 이러한 압력맥동이 과대한 진동을 유발한다면 펌프의 장기간운전에 영향을 미칠 수 있다.

기계적인 원인에 의한 진동보다 수력학적인 원인에 의해 발생하는 진동은 원인을 찾고 해결하는 것이 어렵다. 또한 해석적인 방법으로 수력학적인 원인에 의한 진동 발생여부를 미리 예측하기가 힘들고 압력맥동이 적게 발생하는 설계에 대한 방법 또한 많지 않다. 따라서 이러한 부분에 대한 연구가 필요하다.

대형 수직 펌프의 경우 특정 수위에서 1X에 의한 공진이 발생하는 사례가 소개된 적이 있으나 이와 같이 수위변화에 따라 VPF에 의한 진동이 뚜렷하게 변화하는 사례가 발표되는 경우는 매우 드문 편이다. 따라서 본 논문에서는 이러한 특이한 사례를 소개하고 향후 수직 펌프 진동문제 검토 시 하나의 예시가 되기를 기대한다.

참 고 문 헌

(1) Choi, W. H. and Yang, B. S., 1994, Reed Resonance Problems of Large Vertical Pumps, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 4, No. 4, pp. 425~433.

(2) Choi, W. H., Yang, B. S., Joo, H. J., Son, H. S. and Noh, C. W., 1994, Vibration problems of Large Vertical Pumps, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 148~153.

(3) Kim, Y. W., Kim, H. S., Lee, J. S., Bae, Y. C. and Lee, H., 1997, A Study on Vibration of Vertical pump, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 58~63.

(4) Kim, W. T., Kim, M. C., and Lee, H. S., 2009, A Study on the Vertical pump Vibration Mitigation, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 95~96.

(5) Sayers, A. T., 1990, Hydraulic And Compressible Flow Turbomachines, McGraw-Hill.