

# 대형수직펌프에서의 경계조건 변화에 따른 진동 특성

배춘희† · 조철환\* · 양경현\* · 박영필\*\*

Key Words : 대형수직펌프, 경계조건, 동흡진기, Closed Loop, Discharge Head

## ABSTRACT

In this paper, Firstly, it is shown that the bending mode vibration source of vertical pump system is comparatively large because resonance. Secondly in order to reduce the bending mode vibration of vertical pump, The improvement of some boundary condition have been developed and its effectiveness is investigated as applying it at the vertical pump system pratically.

## 1. 서 론

수직펌프는 수평펌프에 비하여 설치면적이 좁고, 높이에 제한을 받지 않으므로 많이 사용되고 있다. 특히 발전소에서는 바다물이나 터빈에서 나온 순수를 재사용하기 위하여 수직펌프를 많이 사용하고 있다. 그러나 수직펌프는 수평펌프에 비하여 상시 운전중 많은 진동 문제를 발생시키고 있다. 수평펌프의 대부분 진동 문제가 축 Unbalance 나 Misalignment 인데 비하여 수직펌프는 전동기가 올려져 있는 구조물인 펌프 케이싱에서 많은 진동 발생 요인을 가지고 있다. 특히 최초 제작, 설치시 펌프 케이싱의 설계잘못에 의하여, 또는 펌프 유체진동에 의해 펌프 케이싱에 공진이 발생, 펌프 상부 전동기 베어링이 손상되는 사고가 발생되고 있다. 지금까지는 이러한 문제 발생시 현장에서 펌프 케이싱 강성 증감을 통해, 공진을 해소하고, 이것이 불가능하면 펌프케이싱을 재 제작하거나 동흡진기등을 사용하여 진동을 저감하여 왔다 특히 그동안에는 공진해소를 위해 펌프 고유진동수를 펌프 회전수보다 25% 이상 크게 하였으나 여기서는 펌프 강성을 적정하게 크게하여 진동을 저감하는 방법을 소개한다

## 2. 대형 수직펌프에서 발생하는 진동 특성

### 2.1 펌프 계통

발전소는 공업용수를 순수처리한 후 고온, 고압증기로 가열한 후 터빈에서 에너지를 얻고, 열교환을 거쳐 냉각후, 다시 가열하여 고온고압증기로 만드는 Closed Loop 방식을 사용하는 발전방식이다. 여기서 대형수직펌프인 순환수펌프는 저압터빈에서 나온 증기를 열교환을 통해 냉각하기 위한 냉각수를 공급하기 위한 펌프이며 냉각수는 해수를 사용하고 유량은143000GPM, 회전수는323rpm, 제작사는 IDP 이다

### 2.2 펌프 에서 발생된 문제점

이 펌프는 건설 후 15년간 사용한 펌프를 초기 펌프 밀림, 부식, 그리고 진동 특성을 개선하기 위하여 신규로 설계, 제작하여 2군데 설치하였다. 설치 진동크기를 측정한 결과 한대는 무부하 시험에서 최대 2.5mm/sec 이하가 발생되었으나 정상 부하 운전시 토출방향에서 진동제한치인 최대 6.5mm/sec의 진동이 발생되었고 다른 또 한대의 펌프는 무부하 시험에서 2mm/sec 이하로 매우 양호하였으나 부하시험에서 20mm/sec로 매우 크게 발생하였다. 펌프의 안정적

† 책임저자, 한전 전력연구원  
E-mail : chbae@kepri.re.kr  
Tel:042-865-5421, Fax:042-865-5444

\* 한전 전력연구원

\*\* 연세대학교

운전을 위하여 최초 펌프 설계고유진동수는 펌프 토출방향이 6.8Hz, 토출직각방향이 7.4Hz 가 되도록 하여 문제가 없을것으로 예측하였으나 진동 양상으로 보아 펌프 케이싱에 문제가 있는 것으로 추론되었다.

### 2.3 펌프 에서 발생한 진동 특성

수직펌프에서 발생하는 진동 특성을 분석하기 아래 <표1> 과 같은 진동측정장비를

Table 1 진동측정장비

장비명	명칭	용도
B & K 2515	FFT Analyzer	주파수 분석
B & K 4381	Accelerometer	진동 가속도 측정
B & K 2635	Charge Amplifier	가속도 신호를 증폭함
PCB	Impact Hammer	고유진동수 측정

사용하여 전동기 상부 진동과 펌프 축진동을 측정하였다. 진동 측정결과 펌프 전동기 상부에서 발생한 진동은 회전주파수인 5.4Hz 만 유일하게 발생되었고 진동 크기는 아래표2 와 같이 최대 20mm/sec 였다.

Table 2 진동 특성

구분	No 57	No 54
	5.4Hz	5.4Hz
토출방향	6.5mm/sec	20mm/sec
토출직각	2.5mm/sec	17mm/sec

### 2.4. 수직펌프의 고유진동수

수직펌프 상부 전동기에 센서를 부착하고 Impact 시험을 한 결과 No 57수직펌프의 고유진동수는 토출방향은7.0Hz, 토출 직각방향은 6.0Hz 이고 No 54 수직펌프는 방향별로 각각 6.2Hz, 5.5Hz였다. 펌프 강성을 증가시키기 위해 펌프 하부 기초 볼트 조임 력을 크게 한 결과 No 57 고유진동수는 방향별로 각각 7.2Hz, 6.5Hz가 되었으나 No 54 펌프는 방향별로 각각 6.5Hz, 5.7Hz였다 펌프 기초 볼트를 조임 후 펌프를 다시 가동한 결과 No 57 펌프의 진동은 5.0 mm/sec, 2.1mm/sec로 저감되었고, No 54 펌프의 진동은 4.0mm/sec, 7.5mm/sec 로 여전히 진동은 기준치 이상으로 발생되고 있었다.

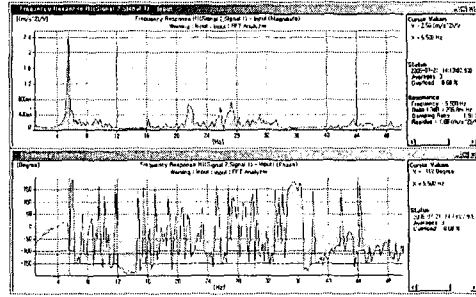


Fig. 1 No 54 펌프 토출방향고유진동수

### 3. 이상 진동 발생 매커니즘 규명

대부분의 수직펌프 진동문제가운데 90%가 공진문제인데, 주로 펌프 전동기 회전주파수 와 펌프 케이싱 고유진동수가 근접, 공진에 의해 진동이 상승되고 있다. 여기서도 유사하게 펌프 회전수인 5.4Hz와 펌프 고유진동수가 근접하여 공진을 유발하는 것으로 판단되었다. 즉 펌프 기초볼트 조임에 의해 펌프 토출방향 고유진동수가 6.0Hz에서 6.5Hz로 증가되면서 진동이 6.5mm/sec에서 5.0 mm/sec로 저감된 것이다

### 4. 펌프 형상 개선을 통한 동특성 개선

펌프의 진동을 저감하기 위해서는 펌프의 토출방향 강성을 증가시켜 펌프의 토출방향 고유진동수를 크게하거나 동흡진기등을 설치하여 진동을 저감해야 하는데 여기서는 펌프의 형상 및 경계조건 변화를 통해 공진을 해소하고자 한다

#### 4.1 수직펌프의 방향별 고유진동수

본 펌프는 유사한 발전소에 설치한 결과 고유진동수가 방향별로 7.8Hz, 8.2Hz로서 방향에 따른 고유진동수차가 0.4Hz로서 적었으나 여기서는 1Hz로서 매우 크게 나타났다. 또한 동일한 펌프를 같은 기초를 가진 구조물위에 설치하였는데 방향별로 고유진동차이가 1Hz 이상 발생하여 매우 특이하였다

#### 4.2 수직펌프의 형상 개선

수직펌프의 기초 볼트의 조임을 통해 강성증가를 시도하였으나 여의치 않아 펌프 Discharge Head의 창문 크기를 기

존에 1500mm×430mm에서 700mm×430mm로 개선하여 설치한 후 고유진동수를 측정된 결과 No 57 펌프의 토출방향 고유진동수가 6.7Hz로 증가되었으나 No 54 펌프의 토출방향 고유진동수는 5.9Hz 로 약간 증가되었다.

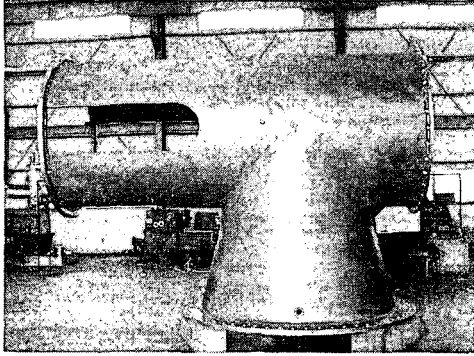


Fig. 2 수직펌프 Head 형상

#### 4.3 수직펌프 Expansion Joint 조임

수직펌프와 배관계를 연결하는 펌프 토출측 Expansion Joint에 조임용 Bar를 60도 간격으로 4개 설치하여 펌프 토출측 강성을 증가하였다

#### 4.4 진동저감 결과

펌프 형상을 포함한 여러 가지 동특성 변화 노력을 한 후 펌프 진동을 측정된 결과 No 57 펌프의 진동은 토출방향이 최대 3.0mm/sec, 토출직각방향이 최대 2.0mm/sec 였고, No 54 펌프는 최대 2.5mm/sec로 크게 저감되었다

Table 3 진동 저감 결과

구분		No 57	No 54
		5.4Hz	5.4Hz
토출 방향	개선전	6.5mm/sec	20mm/sec
	개선후	3.0mm/sec	2.5mm/sec
토출 직각	개선전	2.5mm/sec	17mm/sec
	개선후	2.0mm/sec	2.0mm/sec

### 5. 결 론

이상에서 얻어진 결과들을 가지고 요약한 결론은 아래와 같다.

(1) 펌프에서 공진에 의해 진동이 발생할

경우 펌프 정비용 창문 크기를 변경하면

펌프의 동특성이 개선된다

(2) 펌프 토출측 Expansion Joint 조임력을 변경하면 펌프 동특성을 변화시킬수 있다

(3) 대형수직펌프를 동일한 기초위에 설치하여도 펌프의 고유진동수는 설치방법 및 시공등에 의해 크게 차이가 날수 있다

(4) 동일한 대형수직펌프의 진동크기는 고유진동수의 공진 영역 접근성 뿐만 아니라 기초지반과 펌프의 강성에 따라 크게 다르게 나타날 수 있다.

### 참 고 문 헌

(1) Y. Nakano and H.kato: In-Situ Balancing of grinding Wheels, Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering, Vol. 20, No.4(1986)251

(2) J. P. Den Hartog: Mechanical vibrations, McGraw-Hill, New York, N. Y., 1934

(3) Vibration Control by a Hybrid Dynamic Absorber, 일본기계학회, 1991

(3) Fritz, R.J., 1972, "The Effects of Liquids on the Dynamic Motions of Immersed Solids," J. Engineering for Industry, Trans. ASME, pp. 167-173.

(4) Chen, S.S., Wambsganss, M.W., and Jendrzejczyk, J.A., 1976, "Added Mass and Damping of a Vibrating Rod in Confined Viscous Fluids," J. Applied Mechanics, Trans. ASME, pp.325-329.

(5) Amabili, M. and Dalpiaz, G., 1995, "Breathing Vibrations of a Horizontal Circular Cylindrical Tank Shell, Partially Filled with Liquid," J. Vibration and Acoustics, Trans. ASME, Vol.117, pp.187-191.

(6) Kovats, A., 1962, "Vibration of Vertical Pumps", Journal of Engineering for Power, Trans. ASME Vol.84, pp.195-20