

입형펌프의 공진회피와 안전성 평가

Resonance avoidance and Safety Evaluation of Vertical Pump

정우영†, 송진대*
Jeong Wooyoung, and Song Jindae

Key Words : Vertical pump, Resonance avoidance, ISO10814, Safety evaluation.

ABSTRACT

This paper considers the vertical pumps resonance and soundness. Normally large vertical pump's rotating speed is low, so the low natural mode can make a resonance on the motor and motor stand assembly. The pump resonance makes a very high vibration and trouble on the pump systems. Thus to avoid pump resonance when the pump is on the resonance region, we give the added mass method and evaluate the structure soundness by computer simulation and test on the site. Furthermore we evaluate the modal sensitivity and expect running conditions by the using ISO10814.

1. 서 론

해수용 입형펌프의 경우 회전수가 낮고, 회전기계로는 비교적 대형구조를 갖고 있어 저주파의 구조공진 주파수를 갖는 경우가 많다. 따라서, 본 논문에서는 입형펌프 공진 발생 시 대책방안과 그 결과에 대해서 서술하며, ISO10814에 따라 펌프 운전의 안전성 평가를 하였다

2. 입형펌프의 공진회피와 안전성 평가

2.1 입형펌프의 공진

(1) 입형펌프 공진

본 논문에서 다루는 입형펌프는 Sea water make up pump(SWMP)로서 석탄화력발전소의 CWP 피트내부에 해수를 공급해주는 용도이다. 유량 6225m³/h 양정 23m로 설계되었으며, 펌프 회전수는 740rpm으로 1X에 상응하는 주파수는 12.33Hz이다.

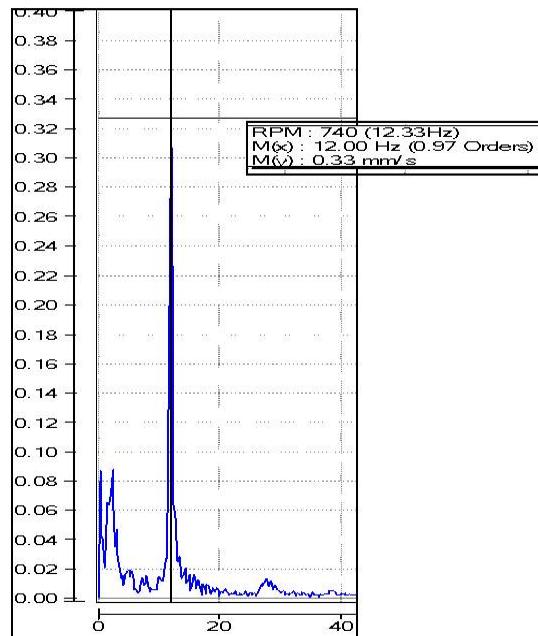


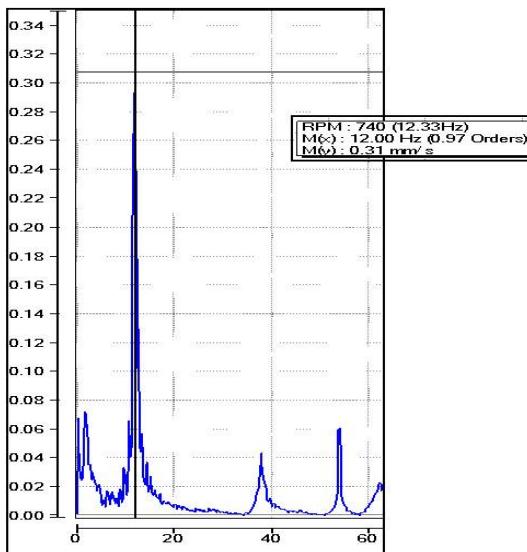
Fig1. Horizontal natural frequency
(Before added mass)

† 교신저자: 비희원, 효성굿스프링스(주)

E-mail : wyjeong@hyosung.com

Tel : 055-279-7723

* 효성굿스프링스(주)



**Fig2. Vertical natural frequency
(Before added mass)**

Fig.1, Fig.2 의 결과는 모터 상부 베어링 하우징에서의 impact test 결과이다. Horizontal, Vertical 방향 모두에서 12Hz 의 고유진동수를 가지고 있다. Test 설정 조건은 0~400Hz까지 1600lime으로 분해능 0.25Hz 를 가진다. 본 진동모드는 모터대와 모터가 결합 된 구조의 1차 Bending 형태를 가지는 모드이다.

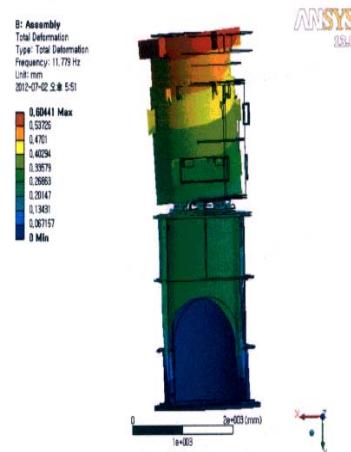
Table 1 Vibration data before added mass

Installation Condition	Result [mm/s, rms]			
	Motor NDE		Motor DE	
	Ver.	Hor.	Ver.	Hor.
Before added mass	2.78	5.13~6.6	1.07	2.02

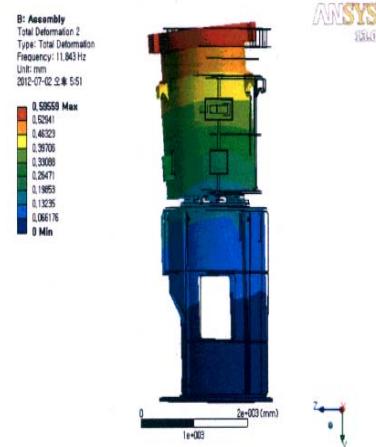
Table 1 에서와 같이 모터 NDE 에서의 진동이 DE 측 보다 크며, Horizontal 방향이 Vertical 방향 보다 훨씬 큰 것을 알 수 있다.

(2) 입형펌프 공진 해소

본 입형펌프의 공진문제를 해소하기 위해서 모터 상부에 Mass 를 가중하여 고유진동수와 회전주파수 간의 Margin을 증가시키는 방법을 적용하였다



**Fig3. Simulation result
(1st mode)**



**Fig4. Simulation result
(2nd mode)**

Fig3 은 본 펌프의 1 차 고유모드로서 Horizontal 방향으로 1 차 Bending 모드이고, Fig4 는 2차 고유모드로서 Vertical 방향으로의 1차 Bending 모드이다. Horizontal 방향의 1차 Bending 모드의 해석결과는 11.78Hz 의 고유진동수 값이 도출되었고, Vertical 방향의 1 차 Bending 모드의 해석결과는 11.84Hz 의 고유진동수 값이 도출되어 Impact test 상의 결과와도 유사한 결과를 가짐을 알 수 있다.

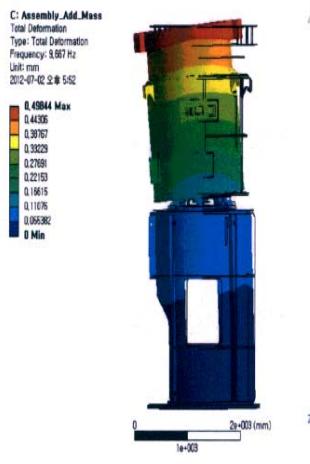


Fig5. Simulation result after added mass (1st mode)

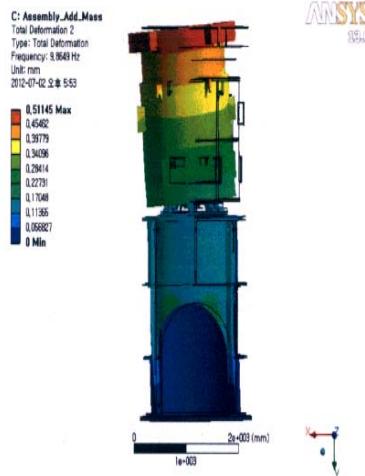


Fig6. Simulation result after added mass (2nd mode)

Fig5., Fig6.의 결과는 해석상으로 모터상부에 1530kg 을 인가한 조건의 결과이다. Fig5.에서와 같이 질량의 부가하기 전의 1 차 모드인 Horizontal 방향의 1 차 Bending 모드는 2 차 모드로 이동하였고 질량을 부가하기 전의 2차 모드인 가 Vertical 방향의 1차 Bending 모드는 질량부가 후 1 차 모드로 이동하였다. 고유진동수는 1차 모드에서 9.67Hz, 2차 모드에서 9.86Hz 로 Vertical 1 차 Bending 모드의 고유진동수가 1.92Hz, 2차 모드의 고유진동수가 2.17Hz 감소함을 해석결과로부터 알 수 있다

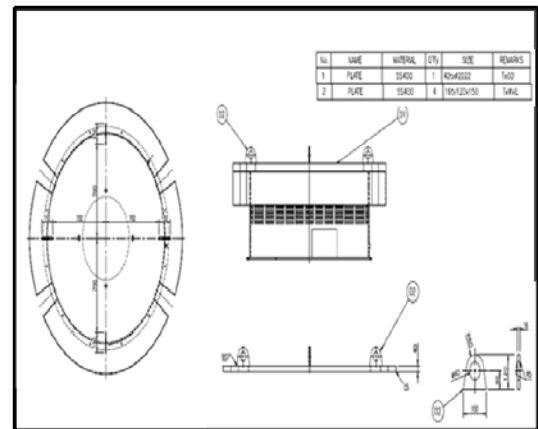


Fig7. Mass Drawing

현장의 설치를 위해 Fig7. 과 같은 부가질량을 제작하였다. 본 질량은 Simulation 결과에서 삽입한 질량보다 작은 1000kg 으로 줄여서 적용하였다

질량부가 시 모터의 건전성 영향을 평가하기 위하여 Simulation을 하였다.

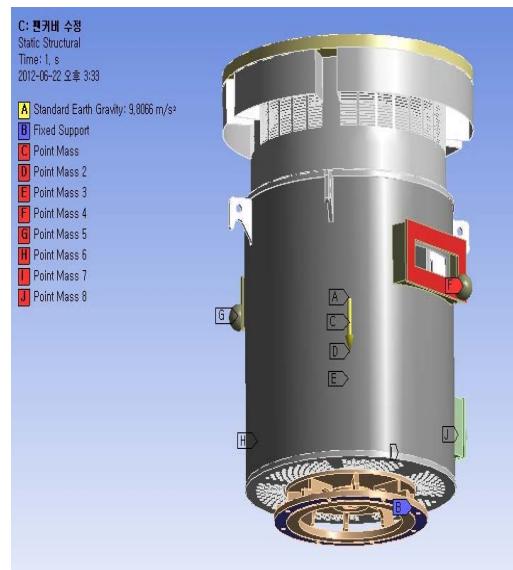


Fig8. Simulation modeling (After added mass)

모터의 건전성을 평가하기 위해 현장에 설치 된 조건보다 가혹한 조건인 1500kg 을 상부에 부가하여, Axial 방향으로 중력가속도(9.8mm/s^2)와 Radial 방향으로 30mm/s rms 로 펌프가 가진되는 조건을 반영하여 해석하였다

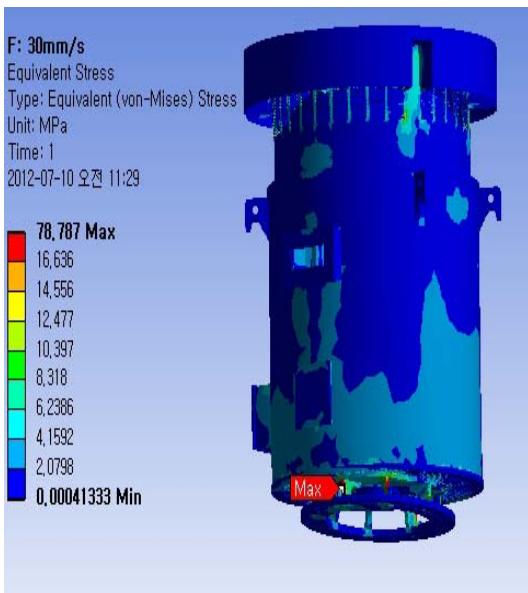


Fig9. Simulation result

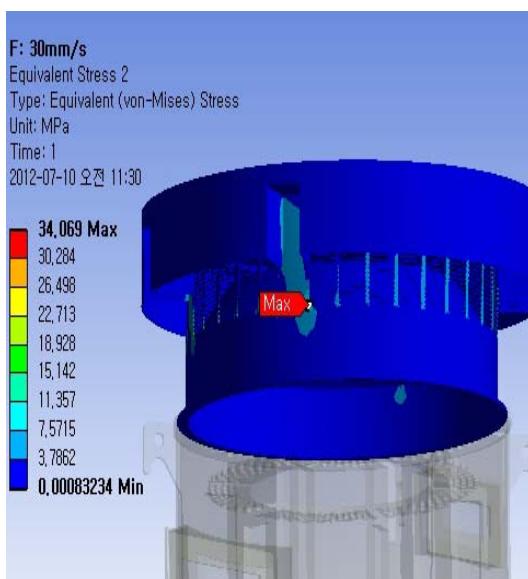


Fig10. Simulation result

Simulation 결과 Fig9. 에서와 같이 모터측의 최대응력이 발생하는 부위는 모터하부 Base flange이며, 이때의 최대응력은 79Mpa로 SS400재질의 항복응력인 215Mpa 대비 2.7 배의 Safety Factor를 가짐을 알 수 있다. 모터 Fan cover에서의 최대응력은 54Mpa로 나타났다. 본 해석 결과는 현장에 적용하는 1000kg 보다 훨씬 가혹한 조건임에도 불구하고 구조건전성에 있어 안전한 상태임을 나타내고 있다.

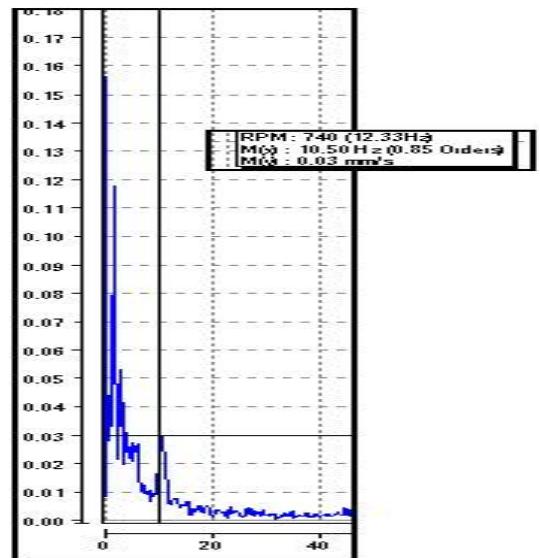


Fig11. Horizontal natural frequency (After added mass)

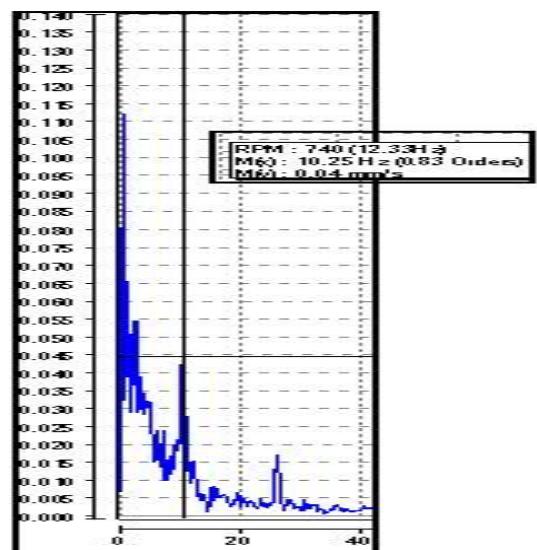


Fig12. Vertical natural frequency (After added mass)

모터 상부에 질량을 부가하여 Impact Test 를 진행하였다. Horizontal 방향으로는 10.5Hz, Vertical 방향으로는 10.25Hz 의 고유진동수가 측정되었다. 본 고유진동수는 운전주파수 대비 Horizontal 방향으로 14.8%, Vertical 방향으로 16.7% 의 Margin 을 가진다.

Table 2 Vibration data after added mass

Installation Condition	Result [mm/s, rms]			
	Motor NDE		Motor DE	
	Ver.	Hor.	Ver.	Hor.
After added mass	0.6	0.5	0.6	0.3

Table2에서와 같이 모터 상부에 질량 1000kg을 부가 한 결과 진동값은 매우 양호한 수준으로 저감 됨을 알 수 있다.

(3) 펌프 운전 안전성 평가

구조공진 해소 조치 후 기기의 운전에 대한 안전성 평가를 위해 ISO 10814를 근거로 하여 판단하였다.

4.2 Type II: Moderate susceptibility

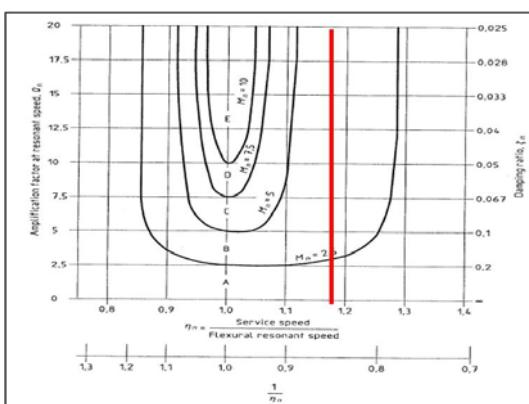
Machines of this type have a moderate likelihood of experiencing significant unbalance changes during operation, such as rotors in an environment with large temperature changes and/or moderate wear.

EXAMPLES:

Pumps in clean media, electric armatures, gas and steam turbines, small turbo generators for industrial applications and turbo compressors.

Fig13. ISO 10814 Type2 definition

ISO10814의 분류기준에 따라 본 Pump는 Type2에 근거하여 판단 할 수 있다.



**Fig14. ISO 10814 Type2 graph
(Modal Sensitivity ranges A to E)**

상기의 차트는 Service Speed 와 Flexural resonance speed 의 관계로서 운전상태를 예상하는 그래프이다. 현재 운전은 12.33Hz로 되고 있고 공진주파수는 10.5Hz 이므로 12.33/10.5 를 계산하면 1.174의 값을 얻을 수 있다. Fig14. 그래프상에 빨간색 실선은 1.174를 기준으로 표시한 사항이다. 빨간색 실선은 그래프에서 Zone A, Zone B 영역에 있는 것을 볼 수 있다.

Table 3 Modal sensitivity range & expected running conditions

Modal sensitivity range	Expected running conditions
A: Very low sensitivity	Very smooth resonant speed; difficult to detect
B: Low sensitivity	Smooth, low and stable vibrations
C: Moderate sensitivity	Acceptable, moderate and slightly unsteady vibrations
D: High sensitivity	Sensitive to unbalance; regular field balancing may be required
E: Very high sensitivity	Too sensitive to unbalance; to be avoided

Table3는 Fig14.의 Zone에 따른 Modal Sensitivity와 Expected running conditions의 상관관계를 나타내는 부분으로 Zone A, Zone B는 각각 Very low sensitivity와 Low sensitivity를 나타내고 있어 운전 condition에 있어서는 현재 조건이 양호한 상태에 있음을 나타내고 있다

3. 결 론

본 논문에서는 공진되고 있는 펌프의 공진회피를 위하여 모터 상부에 질량을 부가하는 방법을 활용하였고 그에 따른 구조건전성 및 운전건전성을 검토하였다. 또한 현장에 적용 된 사안을 바탕으로 결과에 대하여 검증 및 효과를 확인하였다. 추후 본 건과 같은 진동문제가 발생 하였을 경우에 대하여 본 논문의 방법과 같은 접근이 추후 문제해결에 많은 도움을 줄 것으로 예상한다.

참 고 문 헌

(1) ISO10814 Mechanical Vibration – susceptibility and sensitivity of machines to unbalance

(2) Byun, J. W. and Han, S. B., 2011, Design of a Ultrasonic Cutting-tool Utilizing Resonance Condition of Transverse Vibration of Beam Type, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering. Vol. 21, No. 8, pp. 720~725