

대형 tank 구조물 개선에 따른 진동변화 고찰

Investigation for Change of Pump's Vibration Modes on Oil Tank

양경현†·조철환*·조성태*·송오섭**

Kyeong-Hyeon Yang, Cheul-Whan Cho, Sung-Tai Cho, Oh-Seop Song

Key Words : HOP(Hydraulic Oil Pump; 유압제어유 공급 펌프), Lube Oil Tank(윤활유 탱크), Shell mode(판계 모드), 1X Vibration(1차 조화 진동), Resonance Avoidance(공진 회피)

ABSTRACT

It uses a tank to store, purify and feed lube oil in power plants, which is made by steel plate. Several pumps to feed lube oil are installed on the top plate of the oil tank. In this case if pumps on the top plate are removed or added, the dynamic characteristics of the structure will be changed.

In this paper, we present that we analyze in detail the similar case with a finite element model for tank & pump structure coupled with oil and that we set plan to change mode shapes on the top plate of the tank.

1. 서론

Shell 구조물의 상부에 증량물이 얹혀져 고정될 경우 그 고정부는 일반 구조물 기초에 비하여 매우 취약한 편이다. 그런 특성으로 상부의 증량물이 펌프와 같이 가진원이 발생하는 회전기이라면 진동을 크게 유발할 수 있는 가능성이 항상 존재하게 된다. 만일 shell 구조물 상단에서 가진원에 의한 과도진동이 발생한다면 그 가진원으로부터 공진을 회피하기 위해서 일반적으로 강성증가의 방법과 질량증감의 방법을 활용하게 된다. 그러나 현장의 조건에 따라서 그 선택은 달라진다. 보통 강성 증가방법은 shell 구조물과 같이 진동 모드가 많이 발생할 경우 제한적으로 사용될 수 밖에 없기 때문에 질량부가 효과를 이용하는 것이 좀 더 용이한 측면이 있을 수 있다.

따라서 본 논문에서는 발전소의 윤활 및 유압작동을 위한 oil의 저장소로 사용되는 oil tank에서 상단의 펌프구조물 교체 후 진동이 발생하게 됨에 따라 이에 대한 분석을 통해 원인을 파악하고 향후 개선대책을 수립하기 위해 수행된 사례를 정리하여 기술하였다.

2. 문제점 고찰

2.1 Oil tank 시스템의 개요

대형 발전소와 같이 대형 회전체의 구동과 유압제어가 반드시 필요한 시스템에서는 oil tank 한곳에서 집유와 여과, 냉각 및 급유를 담당하며, 이곳 tank에서부터 터빈-발전기의 베어링에 oil을 공급하여 윤활작용을 하거나 각종 밸브 및 시퀀스를 제어할 수 있도록 유압 작용유를 공급하도록 되어 있다(Fig 1). 또한 tank의 상단에는 급유를 위하여 여러 종류의 급유펌프들이 설치되어 있다(Fig 2).

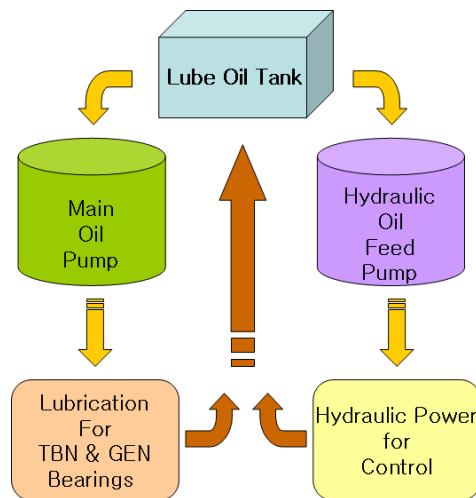


Fig. 1 Feeding from a oil tank

† 책임저자 : 정희원, 한전 전력연구원
E-mail : yangkh@kepri.re.kr
Tel : (042) 865-5422, Fax : (042) 865-5444

* 한전 전력연구원

** 충남대학교 기계공학부

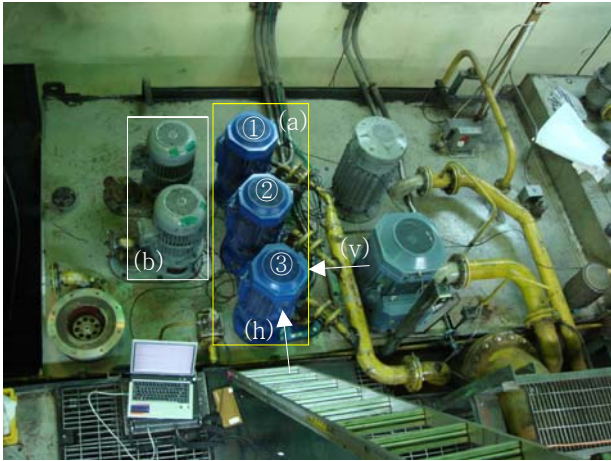


Fig. 2 Pumps on the oil tank

2.2 진동의 문제

신형펌프(Fig. 2의 (a))들을 교체하면서 기존의 펌프 일부(Fig. 2의 (b))는 사용하지 않게 되어 탈거하였다. 그러나 개선된 상태로 펌프를 가동한 결과 기존의 펌프 배치상태에서의 운전상태와 비교하여 2배 이상의 진동상태를 보이는 과도한 진동상태가 나타났다. 오히려 기존의 펌프 배치상태로 되돌려 가동했을 경우 진동상태가 기존의 상태와 같이 일정한 크기의 진동으로 안정되었다. 급유펌프들은 발전소 운영에 매우 중요한 역할을 하기 때문에 과도한 진동상태로 계속해서 가동할 수 없어 탈거하였던 펌프를 기존의 위치에 재설치한 상태로 운영하고 있었다.

신형펌프들은 기존의 펌프와 비교하여 질량의 큰 차이가 없으나 사용하지 않게 된 펌프들을 제거할 경우 oil tank 상단면과 펌프 기초와의 관계에 의한 고유특성이 변화하여 진동을 상승시켰을 것이라고 충분히 예측할 수 있다. 따라서 원래의 개선계획에 따라 비사용 펌프들을 제거하고 안정적인 운영이 가능하도록 하기 위하여 좀 더 세밀한 분석이 필요하였다.

3. 문제점 분석

3.1 고유진동수의 측정

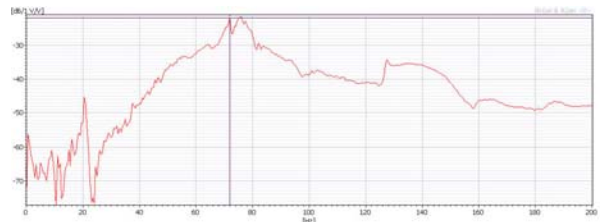
Oil tank내 oil이 정상적으로 충전되고 신형펌프들과 기존의 펌프가 배치된 조건에서 고유진동수를 측정하였다(Fig. 3). 측정대상은 Fig. 2의 (a)에 해당하는 펌프에 대해 수행되었고, 각 펌프별 측정방향은 그림에서와 같이 (v)와 (h)방향에 대해서 실시하였다. 측정결과 고유진동수의 분포가 tank 상부의 (v) 방향에서는 펌프의 주회전수인 3600rpm(60Hz)보다 약간 낮은 부분에서 나타났으며, (h) 방향에서는 주회전 성분보다 약간 높은 부분에서 나타났(Fig. 3). 기존의 펌프 배치상태에서 측정된 결과는 고유진동수가 방향별로 높은 펌프 회전수의 주변에 존재하고

있지만 공진발생 범위에서 약간 벗어나 있었기 때문에 정상시 운영에 큰 문제가 없었지만, 만약 그 주변의 중량물을 제거함으로써 질량의 변화가 온다면 tank 상판의 질량이 감소하면서 주변 지지구조물의 고유진동수를 높이는 결과를 가져오게 된다. 따라서 신형펌프를 교체하면서 주변의 펌프중량물까지 해체하게 되면 신형펌프의 고유진동수가 펌프의 회전성분으로 근접하게 되는 결과를 가져오게 되어 공진현상을 일으켜 과도진동을 발생시킬 수 있게 된다.

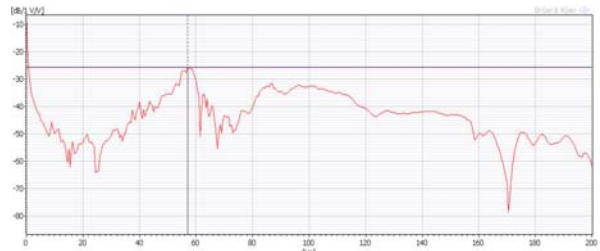
Table 1. Natural frequencies for pumps

Pump #	①	②	③
Dir. (v)	55	56	57
Dir. (h)	65	57.5, 74	72

(Unit : Hz)



(a) Frequency response to (h) direction in Fig. 2



(b) Frequency response to (v) direction in Fig. 2

Fig. 3 FRF chart for a new vertical pump

3.2 유한요소 해석

향후의 개선방향을 수립하기 위하여 Oil tank 및 상부 펌프들에 대한 유한요소 모델수립과 검토가 가능한 방법들을 적용하여 유한요소 해석을 수행하였다.

(1) 기존상태

Oil tank 및 상부 펌프들에 대한 기하학적 모델은 아래 그림과 같이 Solidworks를 통해 구현하였다(Fig. 4). 상부의 배관연결 부분은 생략하였으며, 상판에 고정된 여러 대의 펌프 및 펌프하부 구조물과 배관을 포함하였다. 특히 펌프하부 구조물이 oil에 잠겨 있기 때문에 상부의 동특성에 영향을 줄 것으로 판단하였기 때문에 Ansys를 이용하여 구조와 유체가 연동된 모델을 생성하였다(Fig. 5). 그러나

해석결과 oil에 의한 감쇠영향은 Fig. 6의 비교그림에서 나타난 것처럼 tank 내부의 oil 유무에 따라 첫 번째 모드에서 0.6Hz 정도로 미세한 차이가 나타나고 있었고 고차모드로 갈수록 그 차이는 매우 적게 나타나고 있었다. 따라서 해석시간의 절약을 위해 oil이 없는 상태로 tank 상부에 대한 구조해석을 수행하게 되었다. 앞서 수행된 현장 측정조건과 동일한 해석을 통해 (v)방향에 대해서 56.5Hz의 모드 형태가 나타났다(Fig. 7). 또한 60Hz로부터 70Hz 범위 내에는 진동모드가 나타나지 않았다.

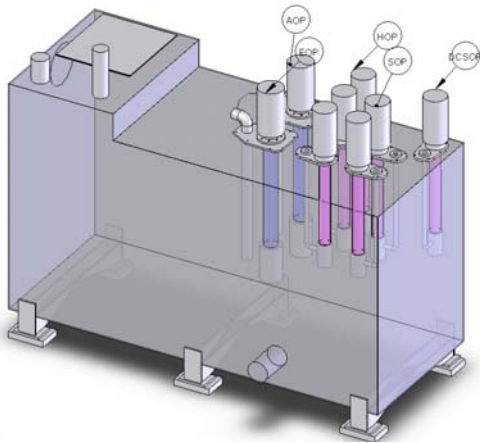


Fig. 4 Modeling of the oil tank

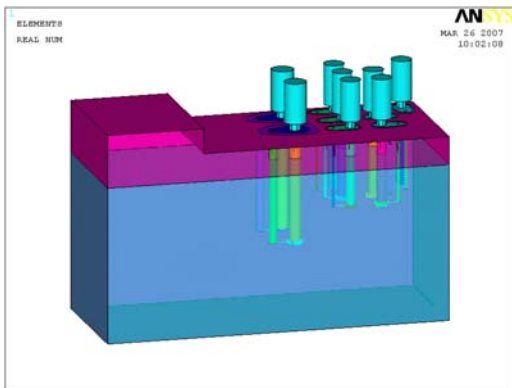
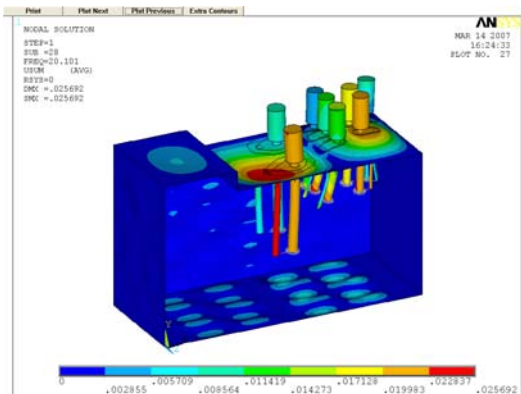
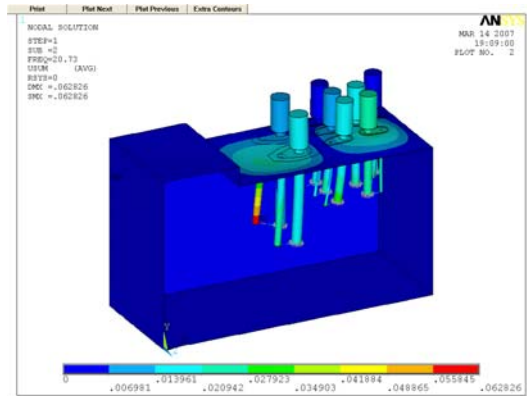


Fig. 5 A FEM model coupled with oil fluid



(a) The 2nd mode of the fluid model (20.1Hz)



(b) The 2nd mode of the non-fluid model (20.7Hz)

Fig. 6 Comparison of the non-fluid model to the fluid model

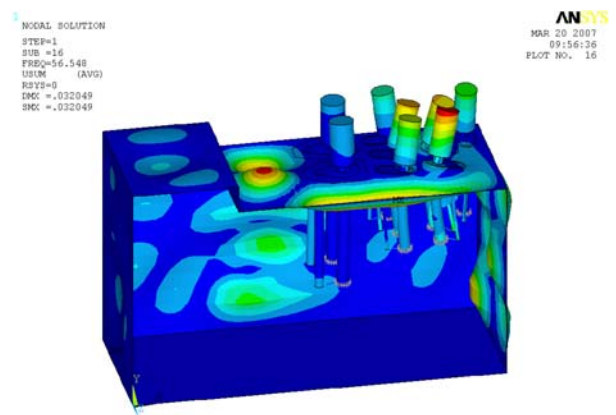


Fig 7. The mode at 56.5Hz of pumps

(2) 펌프 제거의 경우

신형펌프 교체와 더불어 옆에 사용되지 않는 펌프를 제거하였을 경우 해석을 수행한 결과 현장측정 후 예상되었던 결과를 나타냈다. 즉, 56.5Hz에서 58.8Hz로 상승함으로써 펌프의 회전수에 근접하는 고유진동수를 갖게 됨을 알 수 있다. 따라서 주변 펌프를 제거하려던 계획대로 실행하게 될 경우 현장에서 경험하였던 과도진동으로 인해 불안정한 시스템 운영을 할 수 밖에 없다는 결론을 얻었다.

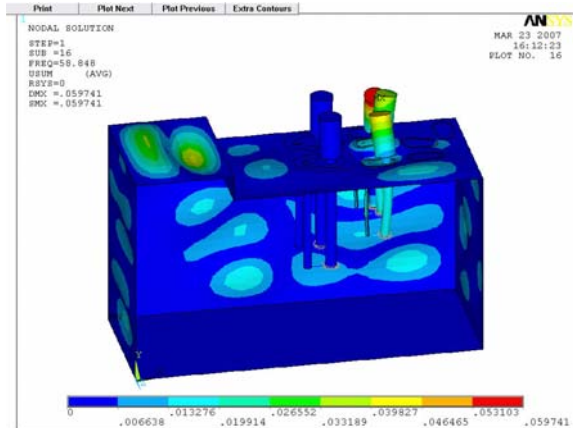


Fig 8. The mode at 58.8Hz of pumps

(2-1) beam 설치의 경우

Tank 상판의 보강을 먼저 생각할 수 있다. 즉, 상판의 plate가 구조물의 고정을 위해서 사용되기 때문에 일반 기초와 동일한 강성을 얻을 수 없다. 따라서 강성을 증가시키기 위해 상판에 beam을 보강할 경우 펌프의 고유진동수를 높일 수 있다. 또한, 추가적인 강성 보강을 위해 tank 상판으로부터 하부면까지 몇 개의 beam으로 지지할 경우 강성 증가가 예상되기 때문에 각각의 경우에 대해 구조해석을 수행하였다. 그 결과는 Table 2에서와 같이 beam의 보강으로 고유진동수가 회전수성분보다 약간 상승된 상태지만 오히려 하부 모드에 있던 성분이 강성이 증가되면서 회전수 성분 부근으로 접근하는 모습을 볼 수 있다. 한가지 예로 Fig. 9는 6개의 beam으로 상판을 보강하고, 6개의 beam column으로 상판으로부터 하부면까지 지지하였을 경우 58.3Hz에서 나타나는 진동형을 보여주고 있다.

결국 beam으로 강성을 보강하는 방법은 펌프 회전수 부근의 고유특성이 상승하는 반면 하부 모드의 이동으로 인하여 강성증가의 부작용이 발생할 수 있는 요소가 있다고 할 수 있다.

Table 3. Frequencies for each case

Beam	on upper plate	3pcs	3pcs	6pcs
	for column	-	6pcs	6pcs
Natural Frequencies		57.2Hz	57.8Hz	58.3Hz
		-	64.5Hz	64.5Hz

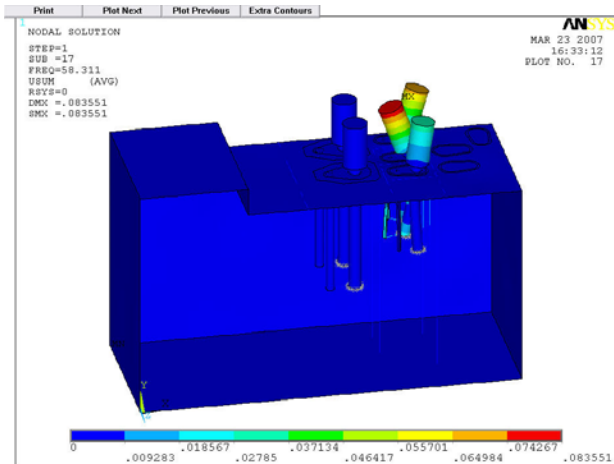


Fig. 9 Mode Shape of 6 beams on the upper plate and 6 beams for column(without two pumps)

(2-2) 질량추가 경우

Tank 상판을 기준으로 펌프의 상부와 하부의 구조물은 하나의 강체이기 때문에 하부에서의 모드변화가 상부에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 사용하지 않게 될 펌프를 제거하면 펌프 고유진동수가 회전수 근처에 근접하게 될 때 신

형펌프의 하부구조물에 질량을 추가할 경우 고유진동수가 낮아지는 효과를 얻을 수 있을 것이라고 예상할 수 있다. 따라서 이것을 증명하기 위해 앞서 사용하였던 구조해석 모델에서 펌프구조물 하부측에 30kg, 50kg, 100kg의 질량을 추가하였을 경우의 변화를 살펴보았다. Table 3은 각각의 질량 추가시 나타나는 고유진동수를 나타내고 있다.

앞서 비사용 펌프를 제거한 경우와 비교하였을 때 고유진동수가 전체적으로 질량 증가에 따라 낮아지는 모습을 볼 수 있고, 회전수 이상인 60Hz~70Hz 범위 내에 진동모드가 존재하지 않기 때문에 beam을 이용한 강성증가 방법보다는 이점이 있다고 할 수 있다. Fig. 10은 100kg의 질량을 펌프 하부에 부착하였을 때 55.9Hz에서 나타나는 진동모드를 보여주고 있다.

Table 4. Frequencies for each mass

Added Mass	30kg	50kg	100kg
Natural Frequencies	57.7Hz	57.02	55.9Hz

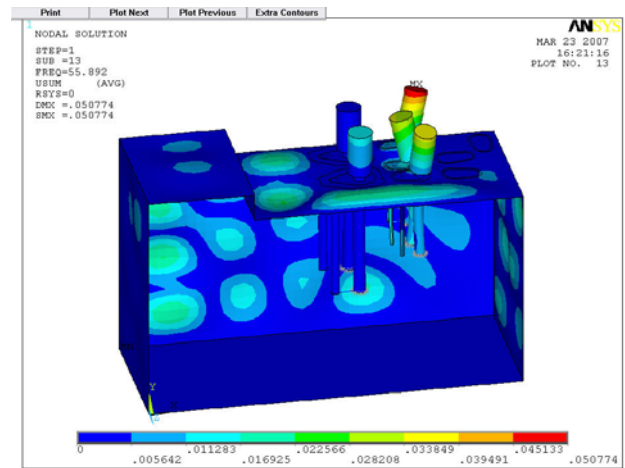


Fig. 10 Mode shape for 100kg mass added pumps

4. 향후 계획

기존의 설치형태에서 비사용 펌프 구조물을 제거하고 설비를 운용할 경우 과도한 진동현상이 발생하기 때문에 반드시 진동을 저감하는 대책이 필요하다. 이러한 관점에서 앞서 수행한 분석내용을 토대로 고려해 볼 때 강성 증가의 방법보다 질량 증가의 방법이 부작용을 최소화하면서 향후 수행할 수 있는 최적의 방법으로 고려된다. 그러나 발전소의 노후화 및 경제성을 검토해 볼 때 기존의 펌프배치상태로 장기간 운영하였음에도 문제가 없었기 때문에 주변 구조물에 문제가 없다면 비사용 설비도 그대로 두는 방법이 한편으로 합리적일 수도 있을 것이다.

앞으로 이제까지 측정하고 분석하였던 내용을 현장에 적용하여 그 결과에 대한 데이터를 추가함으로써 본 사례의 경우 질량 증가의 방법이 유용하였음을 증명할 것이다.

5. 결론

본 사례에서는 shell 형태의 tank 구조물에서 상부에 설치된 펌프와 같은 중량물을 제거, 변경하고자 할 때 구조물 고정이 일반적인 구조물 기초와 다르기 때문에 발생할 수 있는 진동의 문제점을 제기하였다. Tank 상부의 고정구조물들이 제거가 될 경우 구조물 고정특성이 바뀌기 때문에 공진현상을 발생시킬 수 있으며, 이 문제점 해결을 위해 현장측정과 유한요소 모델을 수립하여 분석을 통하여 강성증가의 방법과 질량증가의 방법을 검토해 보았다. 그 결과 대상시스템은 질량증가의 방법이 관심대상 진동 모드들이 낮아지는 효과로 인해 기존의 시스템에서와 같은 상태로 모드변화를 가져올 수 있음을 해석을 통해 보여주었다.

참 고 문 헌

- (1) 홍진선, 1999, "수직펌프의 진동해석", 한국소음진동 공학회지, 제9권, 제5호 PP 928 ~ 935
- (2) 이병준, 1999, "현장 기술자를 위한 회전기계 진동 및 정비 핸드북", 한국전력공사, 제1편, pp. 18 ~ 94.
- (3) 이병준 외, 1996, "회전기기의 상태감시 및 분석", 한국전력공사, pp. 38 ~ 104.
- (4) D. J. Ewins, 1986, "Modal Testing: Theory and Practice", B&K
- (5) Drew Mackley, 2001, " Basic Vibration Analysis", Emerson
- (6) 양보석, 2002, "회전기계의 진동", 인터비전
- (7) Kenneth, G. M., 1995, Vibration Testing, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- (8) Leo, L. B. and Eric, E. U., 1992, Noise and Vibration Control Engineering, John Wiley & Sons Inc., New York.
- (9) 박형진, 2001, "유한요소해석", 광문각
- (10) 김세영, 2003, "유한요소진동해석", 과학기술
- (11) Albjanic' R., Marjanovic M., Ignjatovic B., Boskovic V., Avdic E., Modal Analysis in the Dynamic Identification of Vital Hydrounit Component, XV IAHR Symposium, Belgrade, 1990
- (12) Albjanic' R., Kalajdzic M., Examples of practical Application of Modal Analysis and Structural Modification, 15th International Semina on Modal Analysis and Structural Dynamics, Leuven 1990
- (13) 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.

(14) 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