

# Cargo Oil Pump & Ballast Water Pump System 의 공진회피 설계 Resonance Avoidance Design of Cargo Oil Pump & Ballast Water Pump

박용환† · 김재홍\* · 이주현\* · 황도진\* · 권혁\*

Yonghwan Park, Jaehong Kim, Juhun Lee, Dojin Hwang and Hyuk Kwun

## 1. 서 론

COT(Crude Oil Tanker) 선박의 Pump room 내 COP(Cargo Oil Pump) 및 BWP(Ballast Water Pump) 등은 긴 shaft 를 통해 driving machinery (steam turbine 또는 electric motor)와 연결되어 있다. 따라서 shaft 의 부적절한 불평형(unbalance) 또는 정렬불량(misalignment) 등에 의해 가진된 진동이 축(shaft)의 고유진동수와 가까울 경우 과도한 진동을 발생시킬 수 있고, 이러한 진동은 shaft 또는 bearing 에 손상을 유발할 수 있다. 특히 pump 운용 중 축계(shaft system)에서 손상이 발생하게 되면 downtime 이 길어 치명적인 경제적 손실이 발생하므로 pump 운용 전 진동특성을 파악하는 것이

아주 중요하다.

Figure 1 은 COT 의 전형적인 pump system 의 구조를 보여준다. 일반적으로 pump system 은 pump 를 구동시키기 위한 driving machine(steam turbine, electric motor)와 pump unit 을 연결하는 축계, 유지보수를 위한 stuffing box 로 구성된다. Pump system 에서 발생할 수 있는 진동은 크게 3 가지로 분류할 수 있다. 첫 번째는 steam turbine 또는 electric motor 자체의 진동이다. 두 번째는 driving machine 과 pump unit 을 연결하는 stuffing box 와 축계의 진동이다. 세 번째는 pump unit 자체의 진동이다. 첫 번째와 세 번째의 경우 장비자체를 지지하는 하부 deck 의 보강 및 장비자체에 보강재(support)의 설치함으로써 고유진동수를 쉽게 향상시킬 수 있다.

따라서 본 연구에서는 3 가지의 진동 중 stuffing box 를 포함한 축계의 진동특성을 파악하고 공진으로 인한 축계의 진동문제 발생시 이를 해결할 수 있는 공진회피 설계방법에 초점을 두었다.

## 2. Shaft 고유진동수 해석 및 측정

### 2.1 Shaft system의 가진력 및 주파수 특성

(1) 불평형(unbalance) 가진

회전체의 질량 분포가 회전중심선에 대해 불일치하는 것으로, ISO의 정의에 의하면 “불평형이란 회전체가 회전할 때 원심력에 의해 베어링과 구조물을 진동시킬 수 있는 힘 혹은 영향을 끼치는 작용”으로 규정한다. 불평형 가지는 축이 1회전할 때 1번 가진되어 가진주파수(excitation frequency)는 축의 회전 주파수와 동일하다.

-불평형 가진주파수,  $1X = \text{shaft rpm}/60 \text{ Hz}$

(2) 정렬불량(misalignment) 가진

일반적으로 COP 및 BWP 등의 긴 축은 universal joint 및 gear coupling으로 연결되어 있다. 따라서

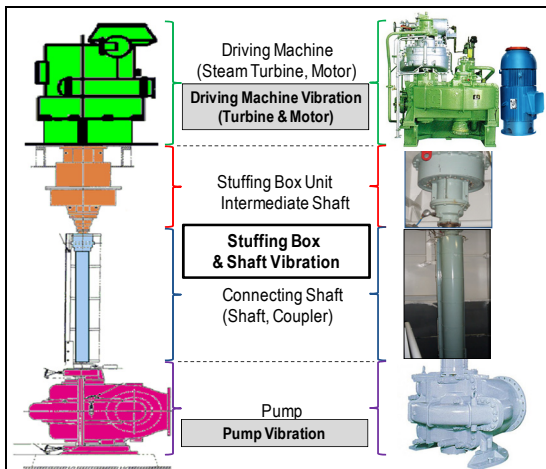
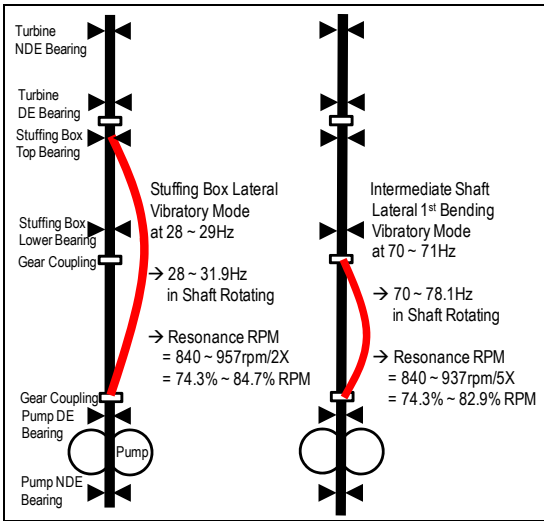


Figure 1 The typical structure of cargo oil pump and ballast water pump system

† 교신저자; 정희원, 삼성중공업(주) 조선해양연구소  
E-mail : yonghwan76.park@samsung.com  
Tel : 055-630-1657, Fax : 055-630-8061

\* 삼성중공업(주) 조선해양연구소 진동소음연구파트



**Figure 2** Vibratory mode shapes and natural frequencies of shaft system including stuffing box (by impact test)

구동축과 피동축이 같은 중심선상에 있지 않으면 (정렬불량), 이에 따른 강제 구속력과 구속모멘트가 발생하여 커플링(coupling), 축(shaft) 및 실(seal)에 높은 응력을 발생시킨다.

-정렬불량 가진주파수,  $2X = \text{Shaft rpm} / 60 \times 2 \text{ Hz}$

(3) 임펠러 날개통과(blade passing) 가진

N개의 블레이드를 가지는 impeller는 축 1회전 시, N번의 가진력을 발생시킨다.

-날개통과 가진주파수,  $NX = \text{shaft rpm} / 60 \times N \text{ Hz}$

## 2.2 Shaft system 고유진동수 해석

유한요소법(Finite Element Analysis)을 이용하여 축계의 중간축(intermediate shaft)의 고유진동수를 예측하였다. 축계의 진동해석을 위해서는 coupling, bearing 등의 강성(stiffness) 특성이 매우 중요한 인자이다. 그러나 일반적으로 coupling, bearing의 강성은 비선형 특성을 가지며 이 값을 정확히 예측하기 어렵다. 따라서 본 연구에서는 중간축의 정보만을 이용하여 중간축의 고유진동수를 예측하였다. 또한 회전하는 축계의 경우 세차운동이 발생할 때, 자이로스코픽(gyroscopic) 효과에 의해 고유진동수가 변화한다. 즉, 전방 휘돌림(forward whirling) 고유진동수는 증가하고, 후방 휘돌림(backward whirling) 고유진동수는 감소한다. 그러나 회전속도가 낮고, 축의 양단이 bearing으로 지지된 축계의 1차 굽힘 모드의 세차각도는 작기 때문에 고유진동수의 변화는 미소할 것으로 예상되어 회전 시 고유진동수 예측은 수행하지 않았다.

## 2.3 축계 고유진동수 측정 및 평가

해석 결과와 비교 및 정확한 고유진동수를 얻기 위해서 축계 비회전(non-rotating) 조건에서 충격 가진시험 (impact test)을 통해 축계의 고유진동수를 측정하였다. 계측된 고유진동수를 바탕으로 축계의 임계위험속도구역(range of critical speed)을 평가하였고, 상한 및 하한 위험구역(range of hazard)은 임계위험속도구역으로부터 각각 15%의 분리여유를 두었다. Figure 2로부터 stuffing box의 lateral vibratory mode의 고유진동수는 임계위험속도구역 내에 존재하기 때문에 고유진동수가 30~38 Hz (normal operating rpm : 900~1130rpm) 내에 포함되지 않도록 해야 한다.

## 3. 공진회피 방안

축계의 whirling vibration modes(Figure 2 오른편의 immediate shaft lateral 1<sup>st</sup> bending mode) 및 stuffing box lateral vibration modes의 고유진동수는 축 및 stuffing box를 지지하고 있는 지지구조물의 강성에 따라 변화한다. stuffing box lateral mode의 경우 stuffing box의 수평방향 보강을 통해 고유진동수를 증가시켜(보강 후 고유진동수 45Hz), 정렬불량에 의한 가진주파수(2X)와 충분히 회피하였다. 중간축의 whirling vibration mode의 경우 bearing 지지구조를 보강하는 방법보다 중간 축 자체의 고유진동수를 증가시키는 방법이 더 효율적이다.

## 4. 결 론

COT의 선장 핵심 장비인 pump room 내 COP 및 BWP등의 shaft whirling modes 및 stuffing box의 고유진동수는 shaft를 지지하고 있는 bearing의 지지강성과 stuffing box의 설치상태에 따라 변화한다. 따라서 동일한 사양의 pump, motor 및 shaft가 적용된다 하더라도 이들을 지지하는 지지구조물의 설치 상태에 따라 축의 whirling vibration modes의 고유진동수는 변화하게 된다. 그러므로 본 논문에서는 pump의 운용 시 shaft 진동에 의한 장비의 파손을 미연에 방지하기 위해 축계가 완전히 연결된 상태에서 축계의 고유진동수를 계측하여, 축계 진동문제 예상 시 지지구조물의 보강 및 shaft size의 변화를 통해 축계의 공진회피설계를 제안하였다.