

# Reed Frequency 회피를 위한 수직펌프의 최적 구조설계

## Optimum Design of Vertical Pump for Avoiding the Reed Frequency

최병근† · 임장익\* · 김효중\* · 박철현\*\*

Jangik Lim, ByeongKeun Choi, HyoJung Kim and ChulHyun Park

### 1. 서 론

대형 수직펌프는 설치면적이 적고 대용량 저수위용이라는 특징을 가지고 있어서 각종 산업 플랜트에서 사용된다.

각종 산업 플랜트에서 수직펌프의 공진문제는 다른 기계에 비해 자주 발생한다. 길쭉한 펌프 본체 상부의 한곳에 대형 중량물인 전동기가 위치하기 때문에 일반적으로 구조물의 고유진동수가 낮으며, 불평형 등 외력이 작용하면 쉽게 진동이 일어나는 경향이 있다.

이는 수직펌프가 구조 특성상 대개 지반에 비해 기초강성이 낮은 콘크리트 슬래브(slab)위에 설치되는 경우가 많고, 외팔보 형태의 펌프 위에 무거운 전동기가 설치되어 무게 중심이 수평펌프에 비해 높게 되기 때문에 대형 수직펌프 구조물의 고유진동수는 낮게 된다.

그리고 일반 대형펌프의 회전주파수도 저속임에 따라 축계의 불평형 가진력에 의한 공진 문제가 빈번하게 발생된다. 대형 수직펌프가 설비가동에 있어서 중요한 기계중의 하나인 경우가 대부분이므로 높은 진동을 유발시키는 공진은 공장 설비운전의 안정성에 큰 영향을 미친다.

수직펌프의 전동기가 아무리 평형잡이 상태가 좋고, 설치상태가 펌프 전동기 제작사의 설치 조건을 만족한다 하더라도 전동기가 펌프위에 설치되어 운전될 경우 공진이 발생하게 되면 과도한 진동이 일어나게 된다. 이 때, 전동기에 부하가 걸리지 않는 단독운전 상태에서도 높은 진동이 나타나기 때문에 운전자는 흔히 전동기 자체의 문제로 판단하곤 한다. 이같은 현상은 보통 진동원인이 전동기에 있지 않고 펌프의 전동기대(motor stool)와 전동기 시스템의 리드공진(reed resonance)에 의한 결과이다.

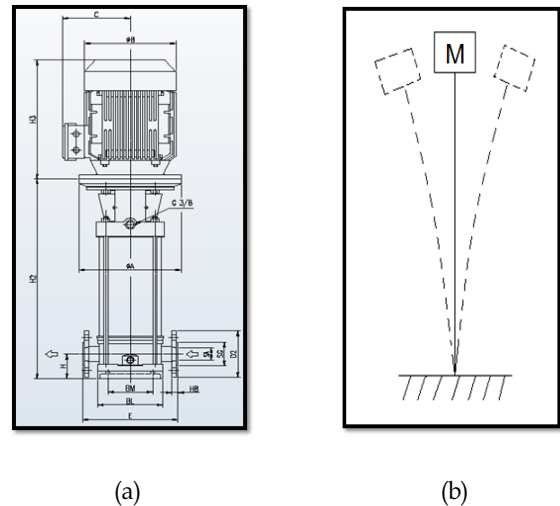
이 리드 공진문제를 해결하기 위해서는 먼저 일반적으로 펌프의 구조적인 부분, 그리고 펌프 내부의 유체에 대한 고려가 이루어져야 한다. 하지만 이 연구에서는 펌프의 구조적

인 부분에 관해서 최적화 구조 설계를 연구할 것이다. 리드 공진을 회피함과 동시에 다양한 parameter를 변화시켜 여러 case 연구를 진행하면서 최적화 된 펌프 구조를 설계, 해석함을 연구의 주목적으로 한다.

### 2. Reed Natural Frequency

#### 2.1 수직전동기의 리드진동수

Fig. 1 과 같이 튼튼한 기초에 고정된 수직전동기에 정적



(a) Vertical motor with rigid support

(b) Reed vibration mode

Fig. 1 Reed mode representation of vertical motor

변형을 가하였다가 놓을 때 저동기가 1자유도계로 진동하는 진동수를 수직전동기의 리드진동수라하며, 전동기 축계의 불평형에 의한 가진주파수가 리드고유진동수(reed natural frequency)에 가까울 경우에는 높은 진동이 발생하는데, 이를 리드 공진이라 한다. 이것은 회전축계의 고유진동수인 위험속도와 다르다. 전동기의 리드진동수는 프레임, 브래킷, 로터, 스테이터 및 기초의 조합된 특성으로 부품의 질량, 치수, 강성 및 전동기 무게중심의 함수이다. 수직 전동기에서 발생하는 주 가진력은 회전축계의 불평형력이다. 불평형력이 아무리 작아도 리드공진문제가 발생할 경우 진폭은 증폭되며 계의 감쇠의 영향을 받는다.

† 교신저자; 경상대학교 정밀기계공학과  
E-mail : bgchoi@gnu.ac.kr  
Tel : (055) 640-3186, Fax : (000) 000-0000

\* 경상대학교 대학원 정밀기계공학과

\*\* 두산중공업

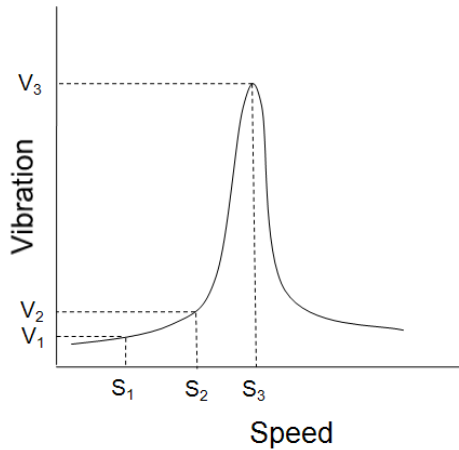


Fig. 2 Amplitude curve for reed resonant

Figure. 2는 전동기의 회전속도 변화에 따라 리드공진점을 통과하는 전동기의 리드진폭 특성을 나타내는 전형적인 곡선이다. 만약 회전속도가 S1일 경우, 축계의 잔류 불평형에 의해 발생하는 전동기의 진폭은 V1이 된다. 회전속도가 S1에서 S2로 증가할 경우진폭은 2배로 증가한다. 그러나, 회전속도가 S3까지 증가할 경우 진폭은 Figure. 2 에서와 같이 S1 속도일 때의 진폭에 비해 몇 배 이상으로 증가하게 된다. 만약 회전속도가 S3로 일정하다면 공진곡선을 오른쪽으로나 왼쪽으로 이동할 때만 진동을 감소시킬 수 있다. 즉, 진동 진폭의 크기는 운전속도와 공진주파수와의 접근정도에 따라 결정된다.

수직전동기를 단순히 집중질량을 갖는 외팔보로 가정하면, 전동기의 리드 고유 진동수는 다음과 같이 된다.

$$F_r = 0.159 \left( \frac{Kg}{W} \right)^{\frac{1}{2}} (Hz) \quad (1)$$

여기서,  $K$ : 전동기의 등가스프링상수 (N/m)  
 $g$ : 중력가속도 ( $m/s^2$ )  
 $W$ : 전동기 중량 (N)

### 3 모델링 및 해석과정

#### 3.1 수직전동기의 리드진동수

3D로 생성한 SOLID를 다음에서 볼 수 있는 Fig.3 과 같이 상용프로그램인 MSC. PATRAN으로 유한요소 모델을 생성 하였다.

연구대상인 구조물의 모든 파트는 Hex type의 격자구조로 요소를 생성했으며 기하학적 형상을 가진 Discharging pipe 부분은 shell mesh로 유한요소 모델링을 하였다.

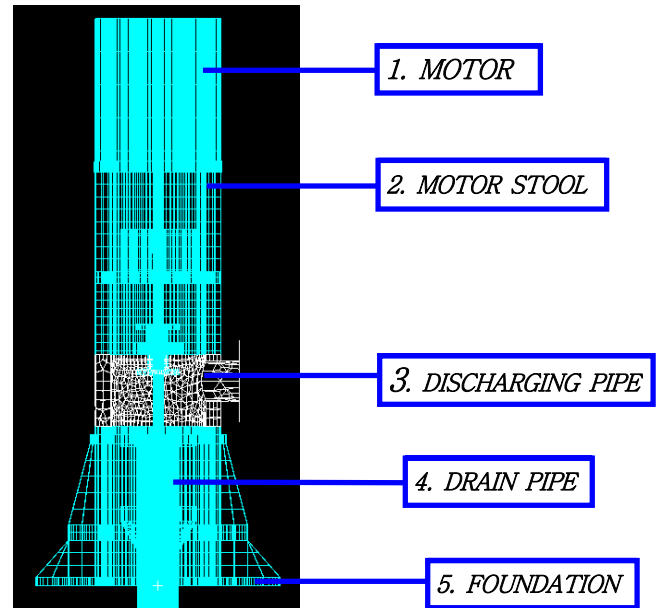


Fig. 3 FEM Model

### 4. 결 론

수직 펌프의 리드 진동수는 방향에 따라 약간씩 다르다. 따라서, 리드공진에 의한 위험속도의 범위가 통상의  $\pm 25\%$  회피기준보다 더 넓어지게 된다. 리드공진이 발생한 경우, 전동기대의 두께 및 리브보강에 의한 강성 증가는 비교적 강성이 낮거나 설치공간의 여유가 충분한 경우를 제외하고는 매우 작으며, 두께 및 리브 보강시 용접작업으로 전동기대의 변형을 초래할 위험이 매우 높게 된다.

본 연구의 목적은 reed frequency를 회피함과 동시에 펌프 구조물의 구조적인 최적화이다. 본 논문에서는 시작단계의 기초적인 연구를 제시하였다. 이후 실제 현장에서의 특정모델의 운전상황 및 조건등을 고려하고, 세부적인 물성치등을 적용한 상태에서 최적화 parameter를 case by case로 진행하면서 연구를 진행해야 할 것이다.

### 후 기

본 연구는 경상대학교 2단계 BK21 친환경 냉열 에너지 기계 연구 사업팀의 지원으로 수행되었습니다.

### 참 고 문 헌

[1] 양보석, 김원철, 임우섭, 권명래, 1989. "수직펌프의 동적응답해석", 대한기계학회논문집 제13권 제3호 pp. 362~372  
 [2] 이현, 김연환, 이규석, 박수미, 이영신, 1994. "개구부가 있는 대형 수직펌프 셸구조물의 진동특성 연구". 한국소음진동공학회'94추계학술대회논문집' pp. 181~186  
 [3] G.N.Vandelpates, 1984, Numerical Optimization Technique for Engineering Design, McGraw-Hill