

# IV. 원심펌프 회전축계의 불평형응답에 미치는 유체력의 영향

부산수산대학 양보석·최원호\*

## 1. 서론

회전축계의 강제진동으로 가장 전형적이고 공업상 중요한 것은 낚빔은 의미로서 불평형 진동이다. 불평형은 회전체의 제작상 피할 수 없으며 진동이 전역 문제가 되지 않는 정도로 제작하는 것은 경제적인 면에서도 불가능하다. 지금까지 미끄럼 베어링으로 지지된 회전축계의 불평형 응답 특성에 대하여는 여러 연구자에 의해 연구가 진행되고 있다.

수중에서 운전되는 펌프는 물의 감쇠작용 때문에 축진동 문제는 적다고 생각되어 펌프의 축진동에 관한 보고는 별로 없다. Black (1)은 펌프의 축진동을 연구하여, 시일부분이 축진동 응답에 큰 영향을 미치는 것을 보였다. 그러나 시일형상에 따른 유체력 평가가 충분이 구명되지 않았기 때문에 환상 시일부분의 틈새, 폭 경비 및 압력차 등이 펌프진동에 어느 정도 영향을 미치는가가 충분히 검토 되어 있지 않다.

이에 저자는 펌프용 시일의 유체력에 의한 진동 특성에 관한 일련의 연구 (2)-(7)를 진행하여 각종 시일의 유체력을 해석하였고, 이 유체력이 회전축계의 안정성에 미치는 영향 (8), (9)을 검토하였으며, 범용 안정성해석 프로그램을 개발하였다. 이어서 본 연구는 시일과 임펠러의 효과를 포함한 회전축계의 불평형 응답해석 및 범용프로그램을 작성한다. 그비하여 시일을 베어링과 같은 지지구조와 본래의 목적인 누설량을 최소화하는 최적설계 문제에 지금까지 연구 성과를 이용하고자 한다. 즉 위험속도 통과시의 공진 배율을 최소화하는 문제에 본해석 방법을, 정상 운전 속도에서의 안정성을 향상시키는 문제는 문헌(8), (9)를 이용하여 최적형상 설계를 할 수 있다.

수치계산 예로서, 원자력 발전 펌프의 여액 제거펌프 등에 사용되고 있는 전형적인 단단 양흡입 원심펌프의 불평형 응답에 관해 다자유도계의 운동방정식을 유도하여 유체회전기계의 특유의 문제인 펌프용 시일과 임펠러에 의한 불평형 응답의 문제에 관해 검토한다.

## 2. 이론

몇개의 축단면, 임펠러, 베어링, 시일 등으로 이루어지는 Fig.1 과 같은 펌프회전축계를 고려한다. 축은 원래 분포정수계이지만 여기서는 등가인 집중 질량과 집중이 없는 탄성축으로 치환해, 등가인 집중 정수계로 한다. 따라서 펌프축계를 축변단면, 원판,

베어링, 시일, 불평형 등의 부분으로 분할하면, Fig.2 같이 등가인 계로 표시 할 수 있다.

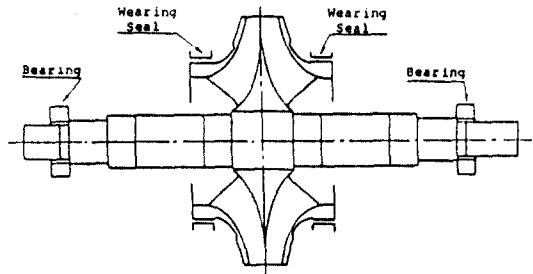


Fig.1 펌프의 축계

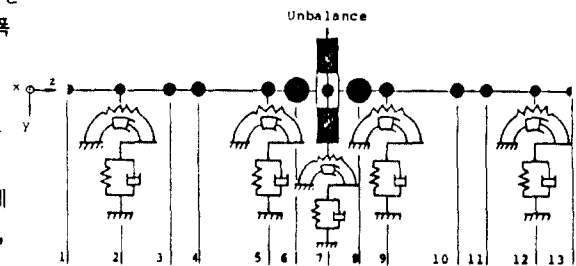


Fig.2 등가펌프축계

펌프진동은 굽힘진동이 중심적인 문제이고, 상태 많은 수직 및 수평방향의 변위  $X, Y$ , 수평축 및 수직 축 돌출의 경사각  $\theta, \psi$ , 굽힘모멘트  $M_x, M_y$  전단력  $V_x, V_y$  이다. Fig.2 의 분할부의 기본적인 구성은 Fig.3 과 같은 형으로 표시되므로, 이것을 축계의 기본요소로 한다.

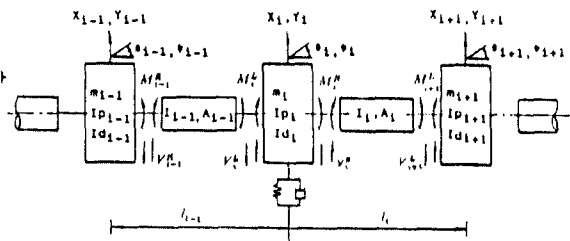


Fig.3 rotor의 분할과 요소

이들 각요소의  $i$  번째의 분할점에 관한 운동방정식은 다음과 같다.



$$A_k = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{(x_C + y_S)^2 + (y_C - x_S)^2} + \sqrt{(x_C - y_S)^2 + (y_C + x_S)^2} \right\}$$

$$B_k = \frac{1}{2} \left\{ \sqrt{(x_C + y_S)^2 + (y_C - x_S)^2} - \sqrt{(x_C - y_S)^2 + (y_C + x_S)^2} \right\} \quad (10)$$

### 3. 펌프축계의 불평형 응답특성

압력에서 유도한 이론에 따라 분할점 7 즉, 임펠러부에 불평형  $e = 0$ 를 취한 경우의 축회전수에 대한 불평형 응답을 표시한다. Table 1의 수치를 이용하여 계산을 수행하며, 베어링 계수는 문헌(11)과 Table 2를, 시일의 동적계수는 문헌(2)를, 그리고 임펠러부의 동적계수는 Black의 결과(1)를 사용한다.

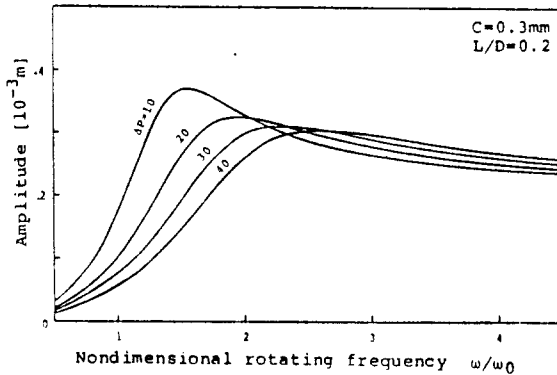


Fig. 4 압력차의 영향

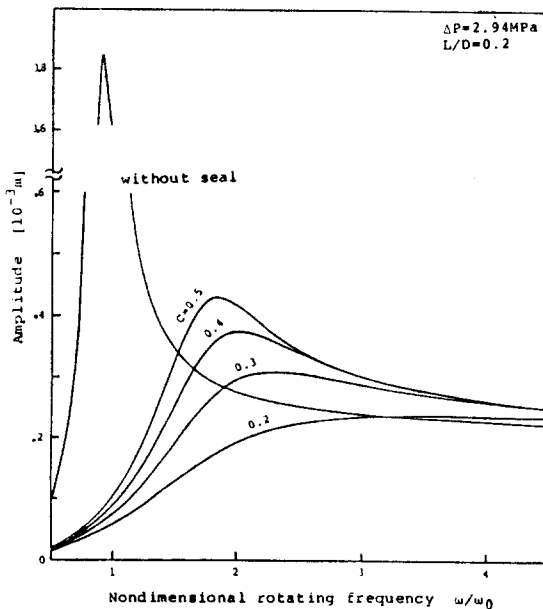


Fig. 5 틈새의 영향

Fig. 4는 시일의 입구와 출구의 압력차에 대한 분할점 7의 진폭곡선의 변화를 표시한다, 압력차가 클수록 최대진폭은 작게되고, 시일의 강성계수가 증가함에 따라 계의 고유진동수가 증가하므로 공진점이 고회전속으로 이동한다.

Fig. 5는 시일의 틈새변화에 대한 분할점 7의 진폭곡선을 나타낸다. 시일부의 유체력을 무시한 경우, 공진점의 최대진폭과 비교해 보면 틈새가 작을수록 크게 감소하고, 공진점도 고회전속으로 이동한다. 이것은 시일부의 감쇠작용에 의한 것으로, 시일의 틈새가 작게 되면 만큼 감쇠력이 크게되며, 또 강성계수도 증가하기 때문이다.

Fig. 6은 분할점 1 (베어링부), 5(시일부) 및 7(임펠러부)에서의 진폭곡선을 나타내고 있다. 공진점을 통과하고 부터, 불평형이 있는 분할점 7의 경우는 점차 감소하고 있지만 시일부의 진폭은 축회전수의 증가에 따라 커지고 있다. 이것은 문헌(2)에서 설명한 것같이 회전효과에 따라 고회전으로 될수록 시일의 강성계수가 작게 되어, 더욱 상승하면 강성계수가 음이 되므로, 진동을 여기시키게 되어 진폭이 크게되며 베어링도 이 영향을 받고 있다.

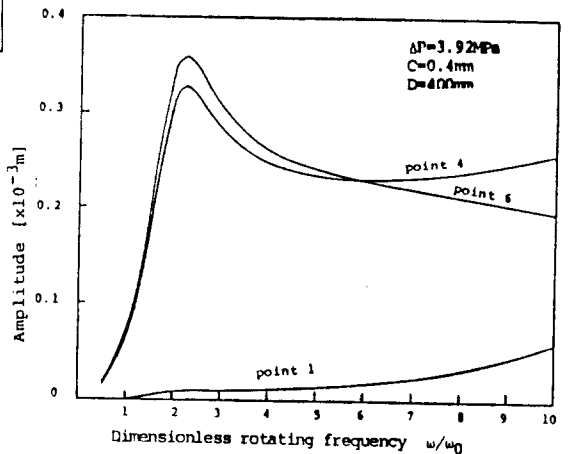


Fig. 6 각분할점에서의 진폭곡선

Fig. 7은 축과 임펠러의 부가질량을 고려한 경우와 무시한 경우의 진폭특성을 나타낸다. 펌프축은 주축과 임펠러로 구성되고, 축들에는 액체로 채워져 있다, 이때문에 액체와 상호작용으로 주축과 임펠러에는 부가질량효과가 발생한다. 이 부가질량을 고려한 경우 축중량이 증가하게 되고 따라서 부가질량을 무시한 경우보다 최대진폭이 증가하고, 공진점이 낮아지게 된다.

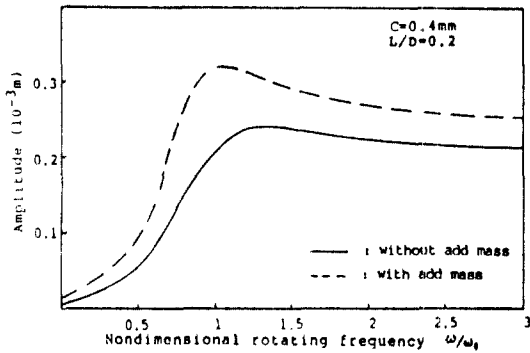


Fig. 7 부가질량의 영향

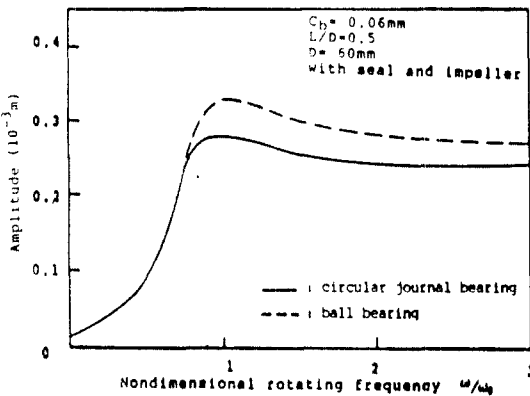


Fig. 8 지지베어링의 영향

Fig. 8 은 지지베어링으로 보울베어링과 진원저어 퍼너베어링을 사용하였을 때의 진폭곡선을 나타낸다. 최대진폭은 양자 모두 거의 동일한 회전수에서 발생하나 저어퍼너 베어링이 감쇠작용이 더욱 크므로 보울베어링의 경우 보다 진폭이 작게 된다.

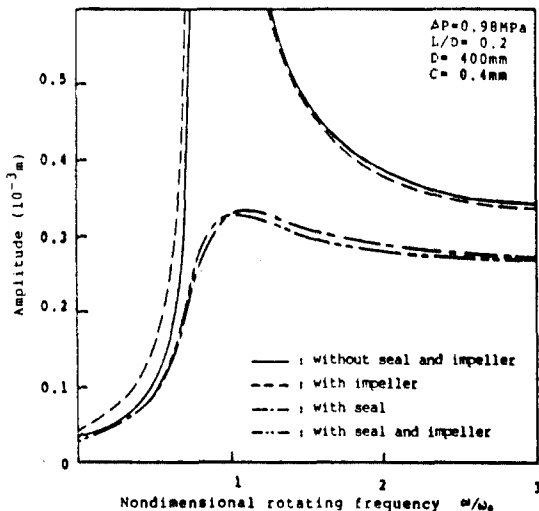


Fig. 9 시일과 임펠러부 유체력의 영향

Fig. 9 는 시일과 임펠러에서 발생하는 유체력이 불평형 응답에 미치는 영향을 나타낸다.

#### 4. 결론

펌프용 시일을 지지용 베어링과 같이 적극적으로 이용하기 위한 최적설계의 기본 자료로 이용하기 위해 시일과 임펠러의 효과를 포함한 펌프축계의 불평형 응답특성을 해석하였고, 계산 프로그램을 작성하였다. 수치계산 예로서, 원자력 발전프랜즈의 여열제거펌프 등에 사용하고 있는 전형적인 단단 양흡입 원심펌프의 실기 모델에 따른 계외 불평형 응답계산을 행하였고 환상 시일부와 임펠러부에서 발생하는 유체력이 펌프 회전축계의 불평형 응답에 미치는 영향을 조사하였다. 그리고 유체 회전 기계의 동적설계에 있어서 총베의 rotor-bearing 계의 해석모델에 시일부와 임펠러부의 유체력을 고려한 불평형 응답 해석이 이루어져야 함을 입증하였다.

#### 참고 문헌

- 1) Black, M.F., Dynamics of Rotors, IUTAM Sym., 1974
- 2) Yang, B.S. et al., Bull. of JSME 27(227)1047, 1984
- 3)-5) 양보석 외 2인, 일본기계학회논문집 50(460)2319, 2330, 2443, 1984.
- 6)-7) Iwatsubo, T., Yang, B.S. and Ibaraki, R., 4th Workshop on Rotordynamics Instability Problems in High Performance Turbomachinery, Texas A&M Univ. 1986.
- 8) 양보석 외 2인, 일본기계학회논문집 51(470), 2479, 1985.
- 9) 양보석 외 2인, 대한기계학회논문집 10(1), 56, 1986.
- 10) Pestel, E.C. and F.A. Lekie, Matrix Methods in Elastomechanics, McGraw-Hill, 1963.
- 11) 일본기계학회편, 미끄럼베어링의 정률성 및 동률성대이력집, 일본공업출판(주), 1984.

Table 1

Section No.	Length (cm)	Diameter (cm)	Weight (kg)
1	17.5	13.6	20.0
2	12.9	14.0	20.4
3	31.7	14.0	58.8(63.7)
4	8.0	14.0	22.7(23.9)
5	12.3	14.1	250.1(412)
6	12.2	14.1	250.0(411.9)
7	8.1	14.0	250.0(411.9)
8	31.7	14.0	58.8(63.7)
9	12.9	14.0	20.4
10	18.0	13.6	20.6

\* ( ) 내에 표시한 값은 부가질량을 포함한 중량임.