

복합 화력 Condensate Pump의 고진동 사례 분석 및 대책

최 성필*, 류 석주*, 하 현천**

A Case Study on High Vibration in a Condensate Pump for Combined Cycle Power Plants

Seong Pil Choi, Seok Ju Ryu, and Hyun Cheon Ha

ABSTRACT

Several kinds of vibration problems have been frequently encountered in industrial vertical pumps in spite of their widespread use for long time. In fact, vibration problems of the vertical pumps are so complicated and difficult with compared to those of the horizontally mounted pumps that more careful attention should be taken for solving the vibration problems. This paper introduces a case study experienced from troubleshooting for excessive vibration occurred in a vertical-type condensate pump for combined cycle power plants. Subsynchronous whirl vibration was caused by the instability of the guide bearing whose lubricant is water. A newly modified guide bearing has solved the vibration problem, which should be the best countermeasure.

1. 서론

복수 펌프(Condensate Pump)와 같이 입형 펌프는 발전 및 산업 플랜트에서 널리 사용되고 있지만, 진동 측면에서 많은 문제점을 갖고 있다. 그래서 실제 산업현장에서는 횡형 펌프에 비해 입형 펌프에서 더 많은 파손이 발생하고, 자주 보수를 해야 되는 경우가 있다. 또한 입형 펌프에 대한 보수와 진단은 횡형 펌프에 비해 경험도 부족할 뿐만 아니라 입형의 구조적 조건에 의해 더욱 복잡하다. 특히, 입형 펌프의 로터는 횡형 펌프와 달리 대부분은 편지지로 긴 구조를 갖고 있기 때문에 고유진동수가 횡형 펌프에 비해 비교적 낮다. 또한, 회전(Rotor)부, 컬럼(Column)부 및 배럴(Barrel)부 등의 다층구조로 되어, 다소 복잡한 형상으로 구성되어 있다. 그리고 각 부품의 상호간에 물이 채워져 있어 펌프의 진동 특성을 정확하게 예측하여 설계하는 것이 쉽지 않다.

특히, 발전플랜트의 복수 펌프는 터빈발전기의 부하(Load) 및 유체의 온도 등 운전 조건 따라 터가 진동에 다소 큰 영향을 미치는 경우도 있다.[3]

본 연구에서는 복합 화력 발전소의 입형 복수 펌프에서 발생한 수운할 안내 베어링의 불안정 진동에 대한 사례 연구를 통해 그 진동 특성을 설명하고, 이를 방지하기 위해 개선된 베어링에 대하여 소개코자 한다.

2. 입형 펌프의 구조 및 진동 특성

복수 펌프는 복수기에서 응축된 물을 보일러 급수 펌프까지 보내는 역할을 한다. Fig.1은 입형 펌프의 대표적인 복수 펌프의 단면도를 보여주고 있다. 복수 펌프는 그림에서 보는 바와 같이 일반적으로 구동부(Motor), 회전(Rotor)부, 컬럼(Column)부 및 배럴(Barrel)부 등의 다층 구조로 되어 있다

* 두산중공업(주) 기술연구원

** 창원대학교

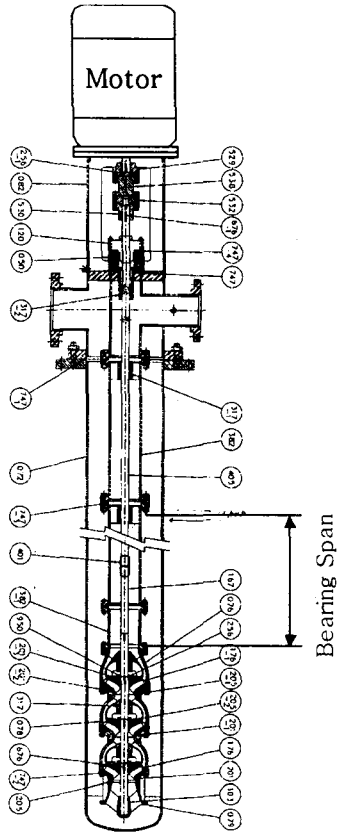


Fig. 1 Section view of a vertical pump

입형 펌프에서 가장 빈번히 발생하는 진동 문제는 구조물의 공진이다. 입형 펌프는, Fig.1에서 보는 바와 같이, 무거운 모터가 지지대 위에 설치되어 있기 때문에 모터 및 지지대를 각각 질량과 강성으로 하는 1자유도계로 고려할 수 있다. 이 때의 고유진동수를 입형 펌프의 리드 진동수 (Reed frequency)라고도 한다. 실제 입형 펌프의 구조물고유 진동수는 유체의 흐름 방향(Flow direction)과 직각 방향(Perpendicular to flow)의 강성 차이에 의해 방향에 따라 약간의 차이를 갖는다. 그래서 입형 펌프 구조물의 공진 문제는 일반적으로 방향성을 갖는다. 즉, 유체 흐름 방향의 공진에 의한 진동은 유체 흐름 방향에서 과대한 진동이 발생한다.

입형 펌프에서 발생하는 또 다른 진동 문제는 베어링 불안정 진동이다. 지난 수십 년간 펌프 제작자들은 입형 펌프에서 안내 베어링(Guide bearing)의 Span을 크게 하면, 베어링의 불안정에

의한 과대 진동이 발생하여 안내 베어링이 파손되는 것을 경험하였다. 그래서 그들은 안내 베어링의 Span을 짧게 함으로써 이러한 문제를 해결할 수 있었으며, API-610에서는, Fig.2에서 보는 바와 같이, 축의 직경에 따른 최대 베어링 Span을 제시하였다. 이와 같이 베어링 Span을 짧게 하는 이유는 입형 펌프 축계의 위험속도를 정격 운전속도 이상으로 가져가 “Whip action”을 제거 시키기 때문이다. 일반적으로 이러한 “Whip action”은 Seal 또는 베어링의 손상, 그리고 축의 Runout 등과 같은 다른 문제들을 유발시킨다.

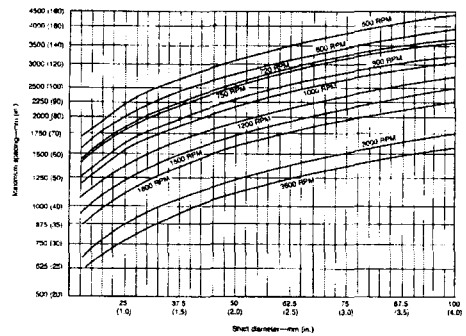


Fig. 2 Maximum spacing between guide bearings

Table 1 Specification of condensate pump

Description	Amounts
Rotating speed	1780 rpm
Motor power	425 kW
Motor weights	4,000 kg
Flow rate	532 m ³ /hr
Numbers of stage	3

3. 사례 분석 및 대책

복합화력 플랜트에 복수기의 응축수를 이송하는 복수 펌프(COP; Condensate Operating Pump)가 시운전 이후 과대 진동이 수 차례 발생하였다. 문제의 플랜트에는 4대의 터빈발전기에 각각 2대의 복수 펌프가 설치되어 있었고, 이에 대한 제원은 Table 1과 같다.

복수 펌프의 모터 상부에서 진동을 측정된 결과, 각각의 펌프마다 약간의 차이는 존재하지만, 진동치가 대략 200 μm (p-p) 정도였다. 이 진동

레벨은 제작사에서 제시한 허용치(80 μm , p-p)를 훨씬 초과하는 수준이다. 주파수 분석 결과, 주진동 주파수는 8.5 Hz 근방의 Subsynchronous 성분이었다. 또한, 모터 지지대에 대한 충격 시험(Impact test)을 실시한 결과, 지지대의 고유진동수가 약 9.5 Hz였다. 8.5 Hz 성분의 가진원 분석을 위해 터빈발전기 부하 및 펌프의 유량에 따른 진동 변화를 조사하였으나 적당한 가진 성분의 기계를 찾아내지 못하였다.

플랜트가 정상 가동 중에 가진원을 찾기 위해 여러 가지 시험 조건에서 진동을 측정하는 것이 어렵고, 유체력 등에 의한 가진력과 펌프 구조물의 고유진동수가 일치하는 공진현상으로 추정하고, 구조물의 진동 문제를 해결하기 위한 대책으로 Fig.3과 같이 모터부에 H-beam supporter를 설치하였다.

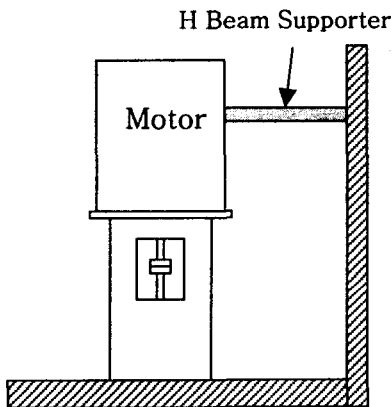


Fig.3 Installation of the supporter

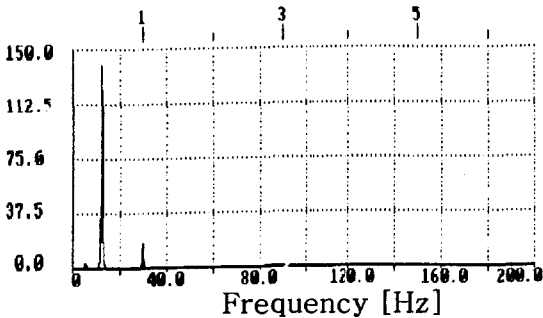


Fig.4 Spectrum plot after installation of the supporter

Table 2 Overall vibration values after installation

		the supporter	
		[unit: μm , p-p]	
Unit	Direction	H	V
	A	②	137
B	①	75	217
B	②	170	126
C	①	44	64
D	②	52	162

Table 2는 Supporter 설치 후 운전 중인 각 펌프에 대하여 모터 상부에서 측정된 Overall 진동치를 나타내었다. Table 2에서 보는 바와 같이, Supporter 설치 후 진동치는 B호기에서 최대 217 μm , p-p로 여전히 허용치를 크게 초과하여 발생하였다. 이 때의 진동 신호를 주파수 분석한 결과를 Fig.4에 나타내었다.

Fig.4에서 보는 바와 같이, Supporter 설치 후 주진동 주파수는 여전히 Subsynchronous 성분이 지배적이었다. 그러나 Supporter 설치 후 Subsynchronous 성분의 주파수는 13 Hz로서, Supporter 설치 전에 측정 시는 8.5 Hz와는 많은 차이가 나타났다. 확인 결과, Subsynchronous 성분의 주파수가 변화된 원인이 Supporter 설치 직전에 펌프 Overhaul을 수행 후 나타난 현상임을 알 수 있었다.

Supporter 설치 후 충격시험을 통한 고유진동수 측정 결과를 Table 3에 나타내었다. 펌프의 고유진동수는 전체적으로 Horizontal 방향의 성분이 발생 주파수 근처에 존재하였다. 그러나 Table 2의 진동치는 Vertical 방향의 진동치가 크게 나타나거나 또는 두 방향의 크기가 비슷한 경우도 있어, 펌프의 과대 진동은 공진에 의해 발생하는 것은 아닌 것으로 판단되었다.

가진 원인 분석 및 대책

펌프에서 Subsynchronous 성분은 일반적으로 수운할 안내 베어링의 불안정 진동 또는 Impeller 부위의 유체 가진력에 의해 발생할 수 있다.

펌프의 진동 주파수 성분이 Overhaul 이후 8.5 Hz에서 13 Hz로 변화되었고, 안내 베어링 Type이 원통형 진원 베어링(황동)이고, 현장 기술자에 의하면 Overhaul 시 베어링에서 과대한

마모가 발생한 것으로부터 가진원의 원인은 수운할 안내 베어링의 불안정 진동에 의한 것으로 추정하였다.

이상의 원인에 대한 추정을 근거로 하여 안내 베어링을 안정성 특성이 좋은 베어링 Type으로 교체하기로 하였다. 일반적으로 입형 펌프의 안내 베어링에 의한 불안정 진동을 감소시키기 위해 3, 4 Lobe 베어링, 또는 Offset 베어링을 많이 사용한다. 하지만 최근 Fig.5와 같은 복합 재료로 제작된 Tholdon 베어링을 입형 펌프에 사용하고 있고, 가격 및 보수적인 측면을 고려하여 안정성 향상을 위해 Tholdon 베어링으로 교체하였다.

Fig.6은 D-① 펌프에 대하여 Tholdon 베어링을 교체한 후 Spectrum plot을 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 베어링 교체 후 Overall 진동치는 162 μm , p-p에서 60 μm , p-p로 감소하였으며, 13 Hz 부근의 Subsynchronous 성분이 전혀 발생하지 않았다.

Table 3 Results of impact tests [Hz]

Direction		H	V
Unit			
A	①	14.0, 15.0, 18.5	10.25
	②	14.0, 14.75, 18.5	11.00, 17.25
B	①	13.5, 14.5, 18.0	10.50, 16.25
	②	13.5, 14.5, 18.0	10.25, 18.5
C	①	15.75, 19.50	10.75
	②	15.75, 19.25	11.50
D	①	15.75	11.50, 16.25
	②	16.75	11.00, 16.25

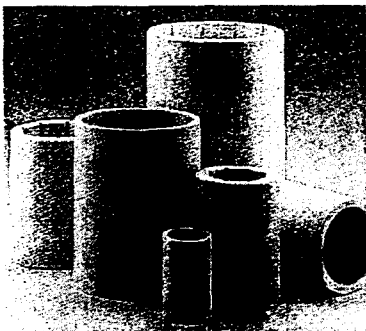


Fig.5 Tholdon bearing

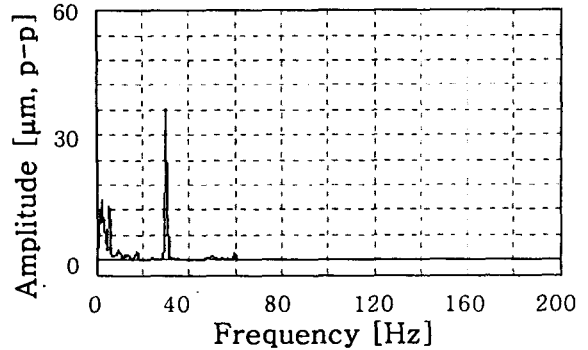


Fig.6 Spectrum plot after installation of Tholdon bearing @ D-① pump

4. 결론

복합 화력발전소의 응축수 펌프를 대상으로 입형 펌프의 진동 문제를 해결하면서 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 발전용 입형 응축수 펌프에서 수운할 베어링의 불안정 진동에 의한 Subsynchronous 성분은 정격 속도의 약 30% 근방에서 발생하였다.
- 2) 입형 펌프의 베어링 불안정에 의한 진동주파수는 Overhaul 등과 같이 조립 조건에 의해 크게 변화된다.
- 3) Tholdon 베어링의 교체를 통해 입형 펌프의 베어링 불안정 진동 문제를 해결하였으며, 비용 및 보수적인 측면을 고려하면 기존의 베어링 보다 우수한 것으로 추천된다.

참고문헌

- 1) 양보석, 김원철, 임우섭, 권명래, 1989, "입형 펌프의 동적응답해석", 대한기계학회 논문집, 제13권 제3호, pp. 362-372
- 2) 최원호, 양보석, 주호진, 손효석, 노철용, 1994, "대형 입형 펌프의 진동문제", 한국소음진동학회 춘계학술대회논문집, pp. 148-153.
- 3) W. E. Nelson, J. W. Dufour, 1980, "Pump Vibration", Proceedings of 9th Turbomachinery Symposium, pp. 137-147
- 4) T. J. Walter, M. M. Marchione, H. G. Shugars, 1988, "Vibration Monitoring of Vertically Mounted Pumps-Tools for Manufacturers and Users", Proceedings of 4th International Pump Symposium, pp. 75-82
- 5) 양보석, 1992, "펌프의 진동", 세종출판사