

배관에 의한 구조진동 진단 및 대책 A Diagnosis and Solution Case of Structural Vibration caused by Pipe

이정환 · 구동식 · 최병근

J. H. Lee, D. S. Gu and B. K. Choi

Key Words : Bellows(벨로우즈), Pipe(배관), Intake Station(취수장), Diagnosis(진단), Vane Passing Frequency (깃 통과 주파수), Resonance Region(공진영역)

Abstract : A few intake stations have vibration problems caused by pipes. The vibration transferred from pipes excites building severely. Therefore, the crack is generated on building wall and people who work at intake station are damaged. In this paper, the vibration is measured and analysis is carried out for pipes at intake station in order to identify the usefulness and effectiveness of the solution proposed for pipe resonance avoidance. According to the result of analysis, the vibration of pipes is reduced by bellows.

1. 서 론

취수장은 강이나 저수지의 원수를 끌어들여 정수장으로 보내는 역할을 하는 시설을 말한다. 이 시설은 수도권을 쓰는 지역에는 어디든 설치되어 있으며, 수도권에도 20여 곳이 있다. 우리나라에 설치되어 있는 취수장은 약 810개소로, 그 시설용량은 하루 29,259kton을 생산할 수 있고, 한 취수장에서 하루 생산되는 취수량은 평균 약 36,000ton이다.¹⁾ 하지만 소규모의 취수장이 많기 때문에 대규모의 취수장은 평균의 몇 배에 이르는 양을 생산한다.

취수장에는 원수를 취수하기 위한 10여기 이상의 펌프 및 전동기가 설치된다. 그리고 펌프 및 전동기의 사양은 설치되는 취수장 담당지역의 소비량에 비례하여 결정되기 때문에 담당하고 있는 지역이 광범위 할 경우 대형 대용량의 펌프 및 전동기를 사용할 수밖에 없다.

펌프 및 전동기와 같은 회전기기는 진동에 의한 문제가 가장 심각하며, 완전히 제거할 수 없는 것 또한 진동 문제이다. 따라서 여러 회전 기기들로 구성되어 있는 취수장에서 진동 문제가 빈번하게 발생하고 있고, 이 진동에 의해서 심각한 문제들이 발생한다.

그리고 이들 펌프 및 전동기의 진동이 배관라인을 통해 건물로 전달되어 취수장 건물의 내외부에 균열이 발생하는 등 많은 문제의 사례가 있었고, 현재에도 같은 문제들이 진행되고 있다.²⁾

따라서 본 논문에서는 대상이 되는 취수장의 전반적인 시스템 진동의 정밀 측정, 펌프 구조계의 진동 측정 및 분석을 하였고, 가진원을 분석하여 펌프 및 전동기로부터의 진동전달 경로를 파악하여, 공진 회피에 대한 대책 방안 제시 및 구조물의 피해방지 방안을 수립하였으며³⁾, 그를 바탕으로 대책 방안의 일부를 시공한 후, 각 배관라인의 진동 경향을 재차 분석하여 대책 방안의 시공 전과 비교하여 그 유용성 및 효율성을 검토하였다.

2. 측정 장치 및 방법

측정 장비로는 Pulse3560(B&K SV)을 사용하였고, 사용된 센서로는 가속도계가 사용되었다.

측정기준⁴⁾은 Overall 치는 10Hz ~ 1000Hz, mm/s, rms로 하였으며, 스펙트럼은 0 ~ 5kHz, 1600line 이상, Hanning, Averaging 4회 이상으로 하였다.

대상호기는 대책 방안의 시공 전과 동일한 2, 4, 6, 7호기로 동일한 장비와 동일한 방법으로 측정되었다. 진동 측정위치는 Fig. 1과 같으며, 벨로우즈가 설치되어 있기 때문에 설치 전의 측정위치와는 다소 차이가 있다. 그리고 각 지점에 대해서 3방향(축

접수일 : 2007년 11월 6일, 채택확정 : 2008년 2월 14일
최병근(책임저자) : 경상대학교 기계항공공학부, 해양산업연구
소
E-mail : bgchoi@gnu.ac.kr, Tel : 055-640-3186
이정환, 구동식 : 경상대학교 대학원 정밀기계공학과

(A)방향, 수직(V)방향, 수평(H)방향)을 측정하였으며, 단 펌프 케이싱은 수직(V)방향만 측정하였다.

주 배관의 고유진동수 측정은 주요 가진 원인 펌프의 깃 통과 주파수(Vane passing frequency, VPF)와 의 공진 여부를 확인하기 위해, 충격해머 (Impact hammer)를 이용하여 주관의 여러 개소에서 타격 시험(Impact test)을 실시하였다.⁵⁾ 가동 중인 펌프를 정지하여 펌프로 부터의 어떠한 가진도 없는 조건에서 실시하여야 순수 배관만의 고유 특성을 파악할 수 있으나, 작동중인 펌프를 정지할 수 없기에 가동 중에 타격시험을 실시하였다.

Table 1 Specification of pump and motor

Pump	RPM : 880rpm, (14.7Hz)
	Bearing Type : Driven (#NU324) End (#6324)
	Capacity : 3,726m ³ /Hr
	Total Head : 66m
Motor	RPM : 890rpm, (14.8Hz)
	Bearing Type : Driven (#NU326) End (#6330)
	No. of Pole : 8
	Power : 1250(1676Hp)kW

단, 제시되었던 대책 방안 중의 하나인 벨로우즈가 취수장 전 배관라인에 설치되었다. 하지만 각 펌프 배관의 특성 상 설치된 벨로우즈의 위치는 제안되었던 위치와 상이 하였다.

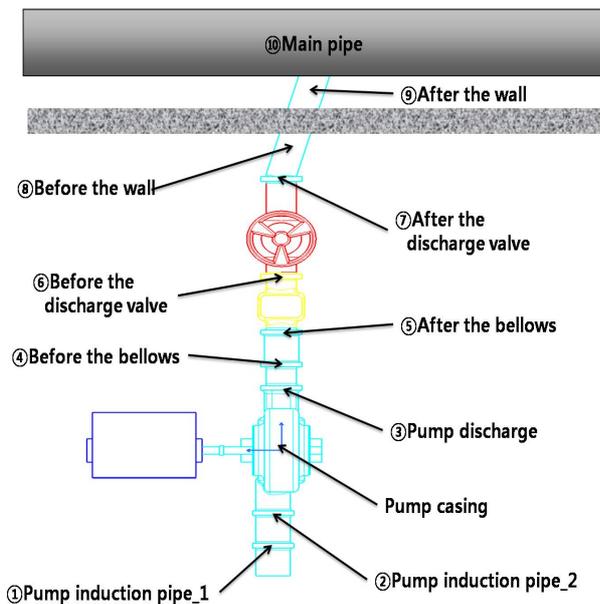


Fig. 1 Measurement point

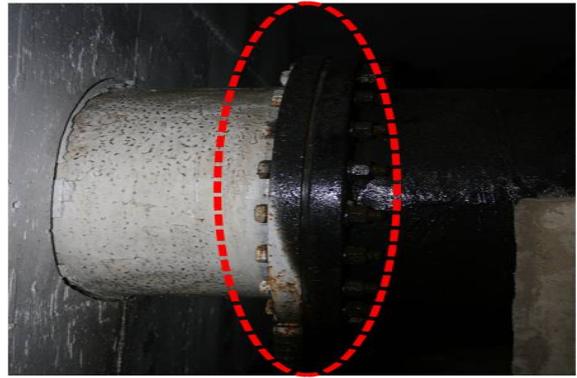


Fig. 2 Proposed bellows location



Fig. 3 Actually installed bellows location



Fig. 4 Supporting structure location

제안되었던 벨로우즈의 설치 위치는 Fig. 2와 같이 벽면통과 후 배관 연결부였다. 하지만 현재 설치되어 있는 위치는 Fig. 3과 같이 펌프 토출 측과 토출밸브 사이에 설치되어 있다.

Table 1은 펌프 및 전동기의 사양을 나타내었다.

Fig. 4는 배관라인의 지지부를 나타낸 그림이다. 지지부가 밸브 측이랑 모터 측 아랫부분에만 만들어져 있고 주 배관에는 지지부가 있지 않다. 지지부는 콘크리트를 쌓아 밸브랑 모터 바로 아래에서 직접 지지한다.

3. 측정 결과 및 분석

공진회피에 대한 대책 방안중의 하나로 제시 하였던 벨로우즈를 시공한 후에 배관라인의 진동경향을 알아보기 위해 벨로우즈 시공 전과 후의 배관라인 진동 값을 측정하여 비교해 보았다.

Fig. 5, 6, 7은 Fig. 1에서 나타낸 측정 점을 기준으로 흡입 측 배관에서 주 배관까지 벨로우즈 시공 전과 후의 진동 레벨을 비교하여 측정방향에 따라 나타낸 그림이다. 각 Fig의 상부 그림은 벨로우즈 시공 전의 결과를 나타낸 그림이며, 하부 그림은 벨로우즈 시공 후의 결과를 나타낸 그림이다.

3.1 수직(V)방향 진동측정 결과

Fig. 5는 수직(V)방향 진동측정 결과로 벨로우즈 설치 전에는 벽면통과 후 진동 값이 상당히 높은 값을 보여주고 있다. 이는 펌프 케이싱에서 발생한 진동이 펌프의 배관라인을 따라 전달되면서 감소하다가 건물의 벽면 통과 후 증가하여 최대가 되고 주 배관에서 다시 감소함을 알 수 있다. 벽면통과 후 진동의 증가는 주 배관으로 연결되는 연결곡관의 고유진동수가 깃통과주파수(Vane passing frequency, VPF)부근에(공진영역)에 존재하여 진동이 증가되는 것을 타격시험을 통하여 확인하였다. 이러한 배관라인의 진동 증가가 건물로 전달되어 건물을 가진하는 것으로 사료된다. 하지만 벨로우즈가 설치된 이후에는 Fig. 5의 하부 그림에서 나타나듯이 벽면 통과 직후 급격하게 증가되던 진동이 현저히 감소된 것을 알 수 있다. 이는 벨로우즈의 설치로 인하여 펌프 측에서 발생하는 진동이 배관라인을 따라 전달되지 못하고 감쇠되기 때문이다. 그리고 벨로우즈 전과 후의 진동레벨을 비교하면 벨로우즈의 효과가 어느 정도인지를 알 수 있다. 특히 가장 급격

한 변화를 보이던 6호기의 연결 곡관의 진동레벨이 약 1mm/s의 값으로 나타나고 있다.

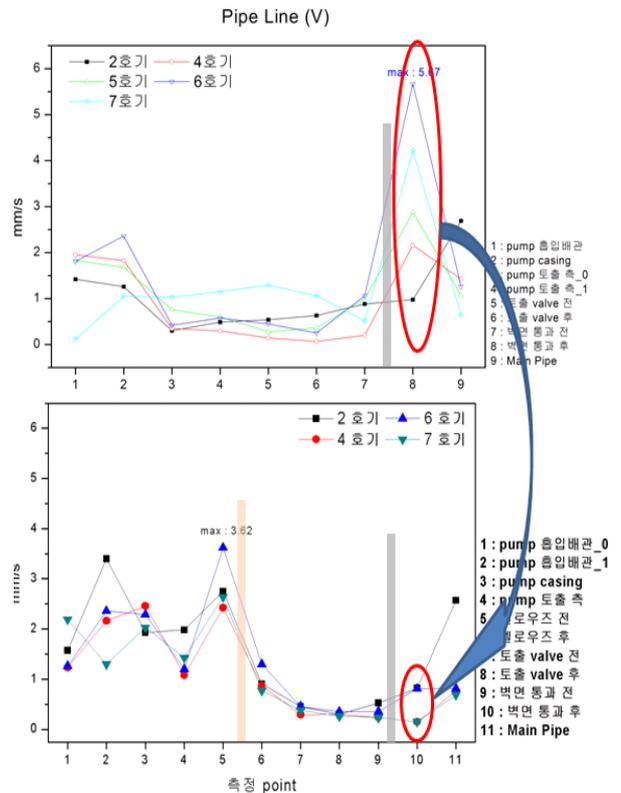


Fig. 5 Comparison of pipe line(vERTICAL direction)

Fig. 5의 상부 그림에서 바 표시는 벽면을 의미하고 하부 그림에서 2개의 바 표시 중 앞에는 벨로우즈를 의미하고 뒤에는 벽면을 의미한다.

3.2 수평(H)방향 진동측정 결과

Fig. 6는 수평(H)방향 진동측정 결과이다. 벨로우즈 시공 전의 결과를 보면 수직방향과 마찬가지로 펌프 케이싱에서 진동이 크게 나타나고 배관라인을 따라가는 동안 감소하다 벽면통과 전부터 증가하기 시작하여 벽면통과 후 연결 곡관에서 2호기와 6호기는 진동이 갑자기 증폭되고 나머지 4호기와 7호기는 조금 증가할 뿐 증폭되지 않는다. 그리고 수평 및 수직 방향에서 벽면통과 후 진동레벨의 증가는 연결 곡관에서의 공진여부가 의심되었다. 하지만 벨로우즈 시공 후의 결과를 보면 수평방향 역시 수직방향과 동일하게 벨로우즈를 기점으로 진동진폭이 현저히 감소되고, 벽면통과 직후 그 진동 측정값이 모두 1mm/s 이하의 값을 나타내고 있음을 알 수 있다.

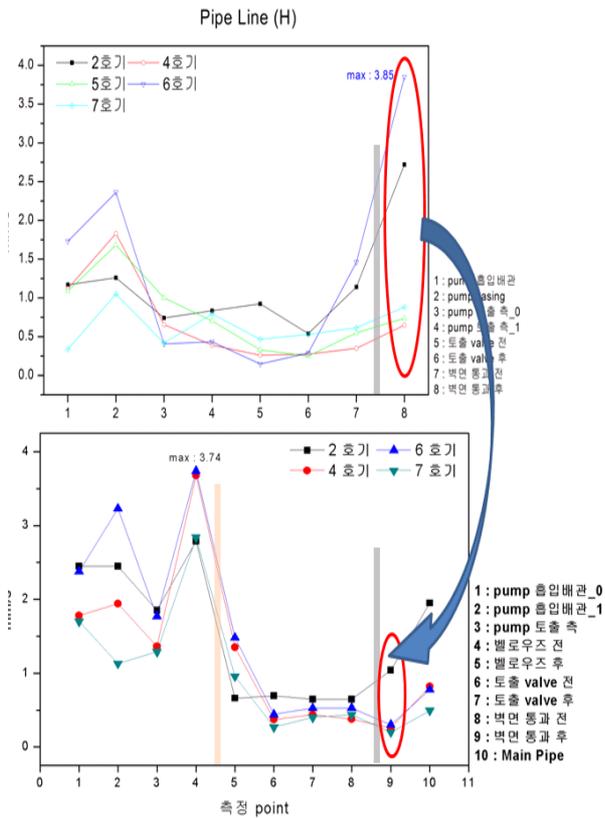


Fig. 6 Comparison of pipe line (horizontal direction)

3.3 축(A) 방향 진동측정 결과

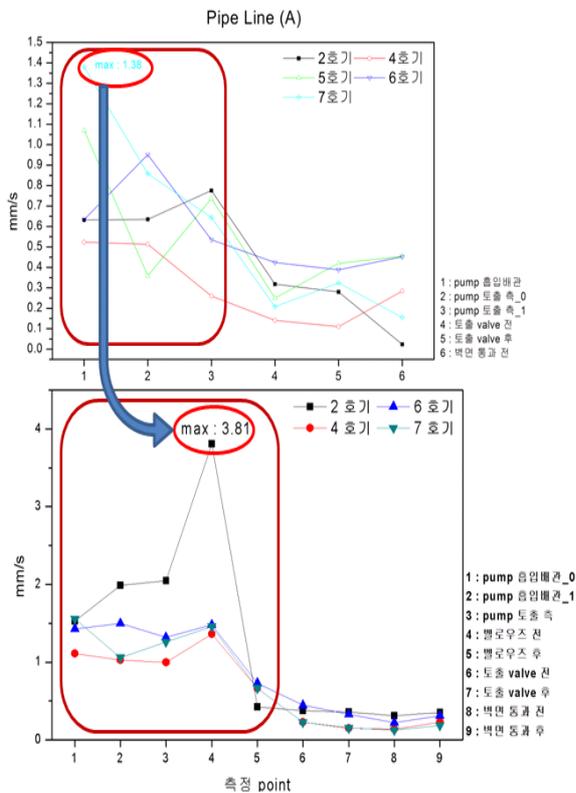


Fig. 7 Comparison of pipe line (axial direction)

Fig. 7은 축(A)방향 진동측정 결과를 나타내는 것으로, 축 방향은 수직(V) 및 수평(H)방향과는 다른 결과를 보여주고 있다. 벨로우즈 시공 전의 결과를 보면 진동 값이 배관라인을 따라가면서 점차적으로 감소하였다. 하지만 벨로우즈 시공 후의 측정 결과에서는, 특히, 2호기의 경우 벨로우즈 직전에서 최대 진동 값을 나타내고 있으며, 펌프의 진동레벨이 벨로우즈 시공 전에 비하여 약간 증가되어 있는 것을 알 수 있다. 그리고 취수장의 운전 여건상 2, 4, 6, 7호기 이외에 1호기가 함께 운전이 되고 있어, 1호기 진동이 2호기에 영향을 미친 것으로 사료된다.

또한, 수직 및 수평과 축 방향 모두 벨로우즈 시공 후 펌프 측 배관 및 펌프 케이싱의 진동레벨이 시공 이전에 비하여 약간 증가한 것을 알 수 있다. 이는 이전과 같이 배관라인이 강 결합인 경우 펌프에서 발생한 진동 에너지가 배관라인을 따라 전달이 되어 이동되어지지만 벨로우즈가 연결된 유연결합의 경우 펌프에서 발생한 진동에너지를 벨로우즈에서 감쇠 및 절연이 되어 전달되지 않고 펌프 측으로 반사되어 펌프 측 배관 및 펌프 케이싱의 진동레벨이 증가한 것으로 사료된다.

4. 결 론

취수장 건물의 공진회피 대안 중 하나였던 벨로우즈 시공은 제안되었던 위치와는 상이하게 설치되었으나, 배관라인을 따라 전달되던 진동이 벨로우즈로 인하여 수직방향과 수평방향 모두 벽면통과 후의 진동 값이 약 1mm/s 이하의 진동 값으로 감소됨을 확인할 수 있었다. 이로써 배관라인을 통하여 건물로 전달되던 진동 역시 감소가 되고 있음을 예측할 수 있다. 그러나 축 방향에 대해서는 벽면통과 후의 진폭 값의 변화가 거의 없으며, 벨로우즈 시공 전의 측정 시와는 달리 펌프 측의 진동 값이 약간 상승되어 있어, 축 방향에 대해서는 벨로우즈의 영향이 크게 미치지 않는 것으로 사료된다. 그리고 벨로우즈가 펌프에서 발생되는 진동 에너지를 대부분 흡수하고 있는 역할을 하고 있으므로, 그 에너지를 얼마나 오랜 기간 동안 흡수를 할 수 있는지에 대한 평가 또한 이루어져야 할 것이다.

또한, 벨로우즈 설치 전에 비해 수평과 수직방향 진동이 벽면통과 후 진동은 감소하였으나 연결 곡관과의 공진에 의해 서서히 진동이 증가하는 경향을 여전히 보이고 있어, 추후 연결 곡관 부분의 공

진 회피를 위하여 강성보강 또는 질량부여 등의 조치가 필요한 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 2단계 BK21 사업단, 첨단기계산업 기술혁신 인력양성 사업단(NURI) 및 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 지원으로 수행되었다.

참고 문헌

1. 최형욱, 2003, “상수도 통계”, 환경부.
2. 수자원연구원 편, 2004, “여수권관리단 기술진단 보고서(이사천 취수장, 별량 정수장, 옥곡가압장)”, 대전한국수자원공사.
3. 구동식 외 4인, 2007, “배관공진에 의한 구조물 진동 분석”, 대한기계학회논문집. Vol. 31, No. 2, pp. 190~196.
4. R. B. Rabdall, B. Tech. and B. A., 1987, “Frequency analysis”, B&K..
5. 양보석, 1994, “진동법에 의한 설비진단의 실제”, 일오출판사.