

## 취수장용 펌프 및 배관 진동 분석 사례

최병근\* · 최창림\*\* · 김효중\*\*\* · 구동식\*\*\* · 정한얼\*\*\*

### The Analysis of Vibration with Pump and Pipe for Intake Station

B. K. Choi\*, C. R. Choe\*\*, H. J. Kim\*\*\*, D. S. Gu\*\*\* and H. Y. Jung\*\*\*

*Key Words* : Intake station(취수장), Crack(균열), Reference(기준), Vane passing frequency(깃 통과 주파수)

#### ABSTRACT

A few intake stations have vibration problems caused by pumps, motors and pipes. The vibration transferred from pumps, motors and 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 and noise have been measured and analyzed for pumps, motors, pipes and building at intake station. Also, the cause of vibration and noise is identified. Finally, the reference of vibration and noise is established using results of measurement.

#### 1. 서론

취수장은 강이나 저수지의 원수를 끌어들이 정수장으로 보내는 역할을 하는 시설을 말한다. 이 시설은 수도물을 쓰는 지역에는 어디든 설치되어 있으며, 수도권에만도 20여 곳이 있다. 우리나라에 설치되어 있는 취수장은 약 810개소로, 그 시설용량은 하루 29,259 kton을 생산할 수 있고, 한 취수장에서 하루 생산되는 취수량은 평균 약 36,000 ton이다.<sup>(1)</sup> 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 광범위한 경우 대형 대용량의 펌프 및 전동기를 사용할 수밖에 없다.

펌프 및 전동기와 같은 회전 기기는 진동에 의한 문제가 가장 심각하며, 완전히 제거할 수 없는 것 또한

진동 문제이다. 따라서 여러 회전 기기들로 구성되어 있는 취수장에서 진동이 문제가 빈번하게 발생하고 있고, 이 진동에 의해서 심각한 문제들<sup>(2)</sup>이 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.<sup>(3)</sup> 또한 진동으로 인한 소음은 열악한 작업환경을 조성하여 작업자의 인체에도 수면장애, 물리적인 피해 및 혈압상승 등의 영향을 미친다.

따라서 본 연구에서는 대상이 되는 취수장의 전반적인 시스템 진동의 정밀 측정, 펌프 구조계의 진동 측정 및 분석을 하였다. 그리고 가진원을 분석하여 펌프 및 전동기로부터의 진동전달 경로를 파악하였으며, 공진회피에 대한 대책 방안 제시 및 구조물의 피해방지 방안을 수립하였다.

#### 2. 측정 장치 및 방법

##### 2.1. 측정 장치

계측 장비로는 Pulse 3560(B&K SV), VIBROTEST 60(B&K Vibro)를 사용 하였고, 사용된 센서(sensor)로는 펌프, 배관 및 건물의 진동을 측정하기 위한 속도

\* 국립 경상대학교 기계항공공학부

E-mail : bgchoi@gnsu.co.kr

\*\* 국립 경상대학교 대학원

\*\*\* 국립 경상대학교 기계항공공학부

계와 가속도계(Accelerometer), 건물 및 사무실 소음 측정에 이용된 마이크론(Microphone)등이 있다. 그리고 주 배관계 및 펌프 Casing, 베어링 하우징의 고유진동수를 측정하기 위해 임팩트 해머(Impact Hammer)를 사용하였다.

## 2.2. 측정 방법

이사천 취수장의 펌프 및 전동기의 진동 품질을 평가하기 위해 가동 중인 2호기, 4호기, 5호기, 6호기 및 7호기를 대상으로 진동 계측을 여러차례에 걸쳐 수행하였다. 측정 점과 위치는 Fig. 1에서 보이는 것 같이 펌프, 전동기 각각에 대해 구동단(DE)의 수직방향(V)과 수평방향(H)(전동기는 구조 상 제한으로  $\pm 45$ 도 위치) 및 반구동단(NDE)의 수직, 수평 및 축 방향(A), 펌프 케이싱, 기초(base) 및 토출 배관의 진동을 측정하였다. Table. 1은 펌프 및 전동기 사양을 보여준다.

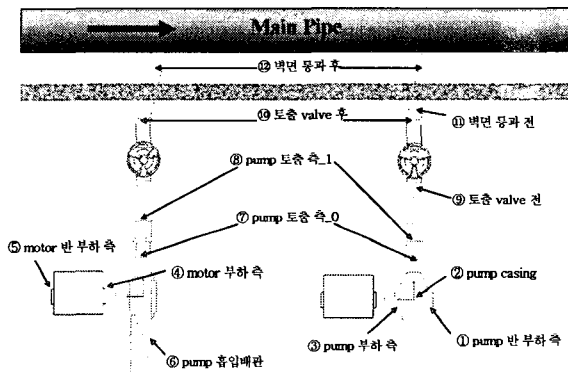


Fig. 1 Measurement Point

Table. 1 Specification of Pump and Motor

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

주 배관의 고유 진동수 측정은 주요 가진원인 펌프의 깃 통과 주파수(Vane passing frequency, VPF)와 공진 여부를 확인하기 위해, 충격 해머(Impact hammer)를 이용하여 주관의 여러 개소에서 타격 시험(Impact test)을 실시하였다.<sup>(4)</sup> 가동 중인 펌프를 정지

하여 펌프로부터 어떠한 가진도 없는 조건에서 실시하여야 순수 배관만의 고유 특성을 파악할 수 있으나, 작동중인 펌프를 정지할 수 없기에 가동 중에 타격시험을 실시하여 타격 전과 후의 스펙트럼을 비교 분석하였다.

그리고 펌프 및 전동기에서 발생하는 진동이 건물에 전달되면서 발생하는 건물 진동을 평가하기 위해 진동 측정을 실시하고, 진동지도(vibration map)를 작성하였다. 건물의 진동 측정 지점으로는 펌프장 각층 (B3, B2, B1, 1층) 및 사무실이고, 여기서의 펌프장은 펌프 및 전동기 설비 옆의 철 구조물 위(측정 장비 셋업 장소)에서 측정된 진동데이터를 말한다. 건물진동의 각 측정점은 Fig. 2 와 같다.

작업장과 사무실의 소음 레벨을 파악하기 위해, 마이크론을 이용하여 사무실에 4개소(중앙, 소파위치, 사무실 입구 및 지도 앞부분) 및 지하 작업장의 소음을 측정하였다.

마지막으로 측정 기준<sup>(5)</sup>은 Overall value는 10 Hz~1000 Hz, mm/s, rms로 하였으며, Spectrum은 0~5 kHz, 1600 line이상, Hanning, Averaging 4회 이상으로 하였다.

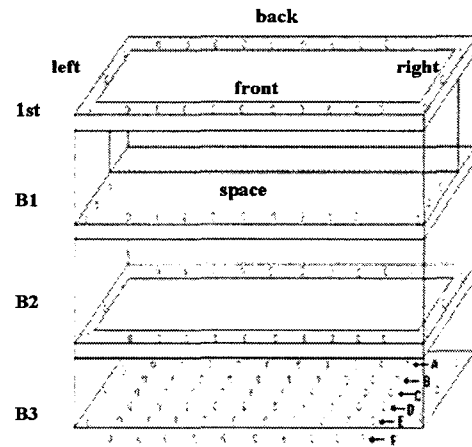


Fig. 2 Measurement Point at Building

## 3. 측정 결과 및 분석

### 3.1. 펌프 및 전동기

펌프의 진동은 기본적으로 임펠러 깃 통과 주파수(VPF) 성분인 104.7Hz 성분이 가장 탁월하고, 이들의 배수 성분(조화성분)들도 발생하고 있으나, 매우 진폭

이 낮게 나타났다.

그리고 전체적으로 NDE측 Vertical Direction의 진동이 크게 나타났다. 그리고 일부 펌프에서는 Cavitation으로 의심되는 진동이 발생하고 있다.

Impact test 결과 일부 펌프 및 casing의 진동스펙트럼에서 2VPF(208 Hz)의 진폭이 부근에 존재하는 고유진동수에 의해 증폭됨을 확인 하였다.

전동기의 경우도 펌프로부터 전달된 VPF 성분이 탁월하게 발생하고 있으며, 아울러 전동기 회전자(rotor) 슬롯 내에서 회전자 봉의 헐거움으로 보이는 회전자봉 통과 주파수(Rotor bar passing frequency)와 주위에 전원주파수의 2배 성분(120 Hz)의 측대역파 성분(sidebands)이 발생하고 있다. 이것은 Fig. 3에서 확인할 수 있다.

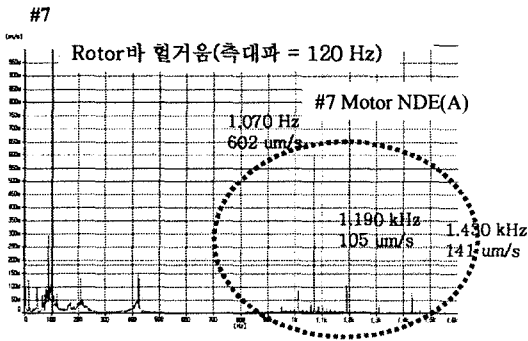


Fig. 3 Sideband Frequency

계측 대상 설비의 경우에는 Fig. 4에서 나타나듯이 진동 평가규격 “ISO 10816-3 에 대해서는 일부에서 영역 B와 C의 경계인 B/C 영역 경계 값 2.8mm/s를 초과하고 있다, ISO 10816-7(제정 중)을 적용하면, 모두 B/C 영역 이내로 양호한 편이다.<sup>(6)</sup> 그리고 펌프 및 전동기의 진동은 전반적으로 펌프의 진동(1.3 mm/s~3.9 mm/s)이 전동기의 진동(0.3 mm/s~0.9 mm/s)에 비해 높은 상태임을 알 수 있다.

### 3.2. 배관 진동

Fig. 5에 주 배관에서 측정된 진동 스펙트럼을 나타낸다. 주 배관의 전체적인 진동속도 스펙트럼은 임펠러 깃 통과 주파수(VPF)인 104.7 Hz 성분만이 주로 탁월하게 발생하고 있으며, 배관 직경이 작은 2호기 측에서 최대 진폭을 나타내고 점차 감소하여, Diffuser 통과 후에 속도에너지가 정압으로 바뀌는 영역에서 진폭이 약간 증가하였다가 다시 감소하는 특성을 보이고 있다.

Fig. 5 Vibration measurement of Main pipe

Table 2. Velocity and Amplitude of Pipe-line

Poinr	Velocity(mm/s, p)	Amplitude(um, p-p)
No.2 out	2.69	8.178
No.4 out	1.42	4.317
Diffuser	1.07	3.253
No.6 out	1.26	3.831
No.7 out	0.641	1.949

Fig. 4 Vibration Velocity of Pump and Motor

Table 2는 주 배관진동의 속도 측정치를 변위로 환산한 결과를 떠나내고 있다. 배관진동진폭의 평가기준(Southwest Research Institute, SwRI)<sup>(7)</sup>과 비교하면, 적절히 설계된 배관계라 할지라도 진동이 일어날 수 있는 영역인 Design region의 아래에 속하고 있어 특별한 문제는 없을 것으로 보인다.

Fig. 6 에 Fig. 1 에 나타난 측정점을 기준으로 흡입 측배관에서 주 배관까지 측정한 Pump 각 크기의 배관진동을 비교한 결과를 나타낸다. 그림에서 알 수 있듯이 #2호기를 제외한 다른 호기의 경우 Pump casing에서 발생한 진동이 Pump의 배관 라인을 따라 전달되면서 점차 감소하다가 건물의 벽면을 통과 후(8) 증가하여 최대가 되고 주 배관(9)에서 다시 감소함을 알 수 있다. 벽면 통과 후 진동의 증가는 주 배관으로의 연결곡관의 고유진동수가 VPF부근(공진영역)에 존재하여 진동이 증폭되는 것을 임팩트 테스트를 통하여 확인하였다. 이러한 배관 라인의 진폭 증가가 건물로 전달되어 건물을 가진 하는 것으로 사료된다.

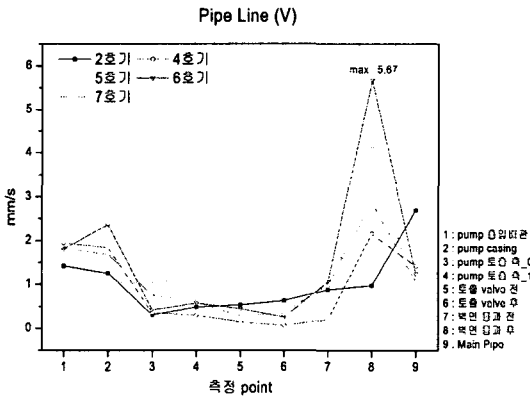


Fig. 6 Vibration Velocity of Pipe-line

### 3.3. 건물 진동 및 소음

펌프장 건물 진동의 측정 결과는 지하 3층(B3)의 1호기에서 8호기까지의 바닥이 진동레벨이 높고, 특히 주 배관 밑 부분의 진동이 매우 크게 발생한다. 이 진동은 건물 벽을 타고 전달되어 지하 2층(B2), 지하 1층(B1) 및 1층으로 그대로 전달되고 있다. 이것은 Fig. 7에서 확인 할 수 있다.

펌프장의 소음레벨은 88 dBA로 매우 높은 상태이며, 사무실 내부의 소음레벨은 51~52 dBA로 조석과 심야에는 공장소음 기준을 초과하고 있음을 Table 3에서 확인할 수 있다.

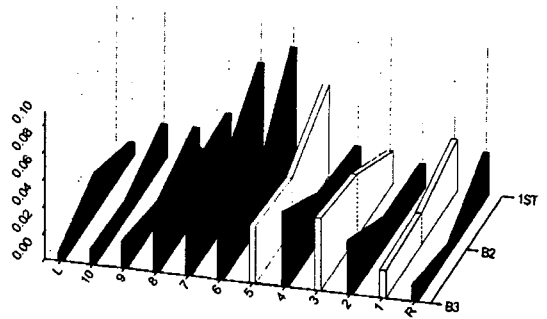


Fig. 7 Vibration map (Back)

Table 3. Standard of Noise

Area	Time	05:00~08:00	08:00~18:00	22:00~05:00
		18:00~22:00		
Residential		low 50 dBA	low 55 dBA	low 45 dBA
Business Industry		low 60 dBA	low 65 dBA	low 55 dBA

## 4. 결론

펌프 및 전동기의 진동 레벨은 비교적 낮고, ISO규격과 비교하여 양호하며, 펌프의 진동은 펌프의 구조적 특성으로 인해 발생하는 깃 통과 진동수(VPF) 성분이 탁월하였다. 전동기의 진동 레벨은 펌프에 비해 매우 양호한 상태이지만, 일부 회전자 봉의 느슨함 증상이 발생하고 있어 향후 개방검사(overhaul)기간에 확인이 필요하다.

주 배관(main pipe)의 진동은 펌프에서 발생한 깃 통과 진동수 성분의 압력맥동이 주 가진원으로 작용하고 있고, 진동 레벨은 SwRI의 규격과 비교하여 매우 양호한 상태이다. 그러나 배관이 콘크리트 기초 위에 올려져 있는 상태로 이 진동이 취수장 건물에 그대로 전달되고 있다. 그러므로 향후 배관과 콘크리트 기초 사이에 진동 절연용 패드 등을 설치하여 진동전달을 차단하고, 주 배관의 부분 또는 전체를 콘크리트로 완전히 둘러싸서 기초에 완벽하게 고정시켜 배관의 진동을 억제할 필요가 있다.

펌프장 건물의 진동레벨은 건물의 허용진동속도 기준과 비교할 때, 일반적으로 많은 사람이 진동을 느끼는 정도의 수준이지만, 매우 양호한 레벨임을 알 수

있었다. 그러나 장기간 운저 시 피로누적으로 건물 벽에 균열을 일으킬 가능성이 있으므로, 주 배관 부분의 진동절연이 필요하다.

마지막으로 펌프장의 소음 레벨은 88 dBA 수준으로 매우 높은 상태이지만, 귀막이를 사용하면 작업자에 큰 문제는 없을 것으로 생각된다. 하지만 사무실의 소음 레벨은 51~52 dBA 수준으로 공장소음 기준과 비교하였을 때, 조석과 심야에는 기준을 초과하는 수준이다. 따라서 근무자의 쾌적한 근무 환경을 위해 향후 작업장과 사무실 사이의 차음 시설을 보강할 필요가 있다.

## 후 기

본 연구는 BK21 지방대학 육성 사업단 및 첨단기계산업 기술혁신 인력양성 사업단(NURI)의 지원으로 수행되었음.

## 참고문헌

- (1) 최형욱, 2003, 상수도통계, 환경부
- (2) 이진복, 임병덕, 정태건, 황재혁, 2002, 최신기계진동학, (주)피어슨 에듀케이션 코리아
- (3) 수자원연구원 편, 2004, 여수권관리단 기술진단 보고서(이사천 취수장, 별량 정수장, 옥곡가압장), 대전한국수자원공사
- (4) 양보석, 1994, 진동법에 의한 설비진단의 실제, 일오출판사
- (5) R.B. Rabdall, B. Tech., B.A., 1987, Frequency analysis, B&K
- (6) 양보석, 2002, 회전기계의 진동, 도서출판 인터뷰전
- (7) 양보석, 1998, 기계건강진단 사례집, 효성문화사