

정수장용 교반기 시설의 과진동 원인 분석

Investigation on the Excessive Vibration of A Mixer Facility in A Water Purification Plant

박진호* · 이정환** · 김봉수** · 강문후*** · 김동수*** · 주윤식***

Jinho Park, Jeong-Han Lee, Bong-Soo Kim, Mun-Hu Kang, Dong-Soo Kim and Yoon-Sik Joo

Key Words : water purification plant(정수장), mixer(교반기), vibration characteristics(동특성), power spectrum, coherence

ABSTRACT

Recently, mixers are being widely used in the water purification plant in order to increase the filtration efficiency. It has been found that a severe vibration was being felt on a upper structure of a mixer facility during steady state operation. The cause of the excessive vibration of the structure to which the mixer's shaft is supported, has been evaluated through modal analysis on the shaft and vibration measurements during operation. The fundamental natural frequency of the mixer's shaft is found to be around 1.8 Hz and the main vibratory frequency around 30 Hz. It has been turned out that the main vibratory frequency, 30 Hz is coincident with the fundamental bending frequency of the upper structure, and that the acceleration signal of the upper structure and the displacement signal of the mixer's shaft showed highly coherent to each other. Accordingly, it reveals that the main cause of the excessive vibration is due not to the mixer's vibration but to the natural frequency of the upper structure excited by flow turbulence.

1. 서 론

현재 국내·외 하수종말 처리장 및 정수 처리장의 오폐수 처리용 약품 혼합에 기계적 혼합방식인 임펠러 회전을 이용한 교반기의 사용이 점차 증가하고 있으나, 이와 관련한 자료나 다양한 연구가 국내에서는 아직 이루어지지 않고 있다.

본 연구 내용의 대상은 정수장의 상수 처리용 응집기 시설에 사용되고 있는 교반조로서, 다수의 교반기가 설치되어 운전되고 있다.

현재 운용되는 여러 응집기 시설 중에서 특정 응집기에 설치된 교반조가 동일 사양의 타 교반조에 비해 과도한 진동이 발생함에 따라, 진동상태를 파악하고 주요 진동원인을 파악하고자 한다.

응집기 시설 중 교반조는 그림 1과 같이 사각의 콘크리트 구조물로 되어 있고, 상판 중심부에 교반조 1기당 1기

의 교반기가 설치되어 있고, 교반기는 구조물 상부에 동력원인 모터와 감속기가 설치되어 있으며, 끝단에 임펠러가 부착된 회전축이 연결되어 회전할 수 있도록 되어있다. 교반기가 회전하면 임펠러 회전에 의해 정수용 오수와 약품들을 잘 혼합되도록 한다.[1]

교반조 내에는 임펠러의 회전에 의해 유동이 발생하고 처리대상수의 유출·입구가 있다. 따라서 교반조 내의 진동원은 교반기의 회전에 따른 진동 가진과 임펠러 운동 및 유체의 유출입에 따른 유동 가진으로 크게 나누어 생각 할 수 있다.

국내의 한 정수장에서 타 교반조에 비해 교반조 상판 구조물에서 인체에 진동이 느껴질 정도의 진동이 발생하여, 그 진동상태를 파악하고 과도한 진동의 발생원인을 확인하고자 하였다.

진동원 규명을 위해 동일 응집기 시설내의 과진동 교반조와 정상적인 상태의 교반조 2개를 비교대상으로 결정하였다. 정상적인 교반조 2개 중 1개는 문제의 교반조와 동일한 사양의 교반기가 설치되어 있으며, 다른 1개의 교반조는 감속기의 제작회사가 상이한 것이다.

진동원 규명을 위해서는 고유진동수의 측정이 필수적이다. 교반기 임펠러가 유체내에서 동작중이므로, 먼저 구조해석을 통하여 교반기의 고유진동 모우드를 예측하

* 한국원자력연구소

E-mail : pjh213@kaeri.re.kr

Tel: (042) 888-2915

** 한국원자력연구소

*** 주식회사 우진

Tel: (053)475-8301

였으며, 진동신호의 측정을 통하여 검증하였다. 그리고 교반조 상판 구조물에 대한 충격가진을 통하여 상판구조물의 고유진동수를 아울러 측정하여 주요 진동원을 알아보았다.

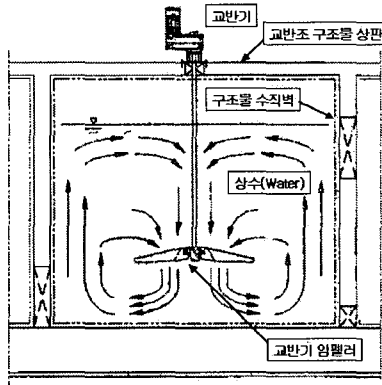


Fig. 1 Section view of a mixer facility

2. 진동신호의 측정

2.1 측정 방법

진동상태의 파악 및 진동원 규명을 위해 응집기 시설 중 3개의 교반조를 측정대상으로 선정하였다. 과도한 진동이 발생하는 교반조와 정상상태로 운전되며 감속기 부분만 서로다른 교반조를 각각 1기씩 동일한 조건에서 진동신호를 측정하였다.

진동신호의 측정은 B&K사의 3축용 가속도를 사용하여 감속기의 바닥과 중간위치 모터 상부로 나누어 차례대로 측정하였고, 이와 동시에 변위 센서를 교반기 회전축의 상부에 유체의 유출입 방향으로 축의 반경방향에 설치하여 축의 변위를 측정하였다. 신호처리 및 분석은 VXI 장비와 I-DEAS/TDAS 소프트웨어를 사용하였다.[2]

교반기의 작동은 상부의 모터가 1350rpm(22.51Hz)으로 회전하며, 감속기를 거쳐 교반기의 출력 축은 16rpm(0.27 Hz)으로 회전한다. 축 하단의 임펠러는 그림 2와 같이 3개의 날개를 갖는다. 가속도 및 변위 신호는 동시에 측정하여 FFT분석법을 통해 주파수 분석을 실시하였다.

상판 구조물의 고유진동수를 파악하기 위하여 교반기의 감속기 바닥 부분(상판구조물 표면)에 가속도계를 설치하고 충격 가진을 실시하여 간이 모우드 시험을 실시하였다. 교반기의 고유진동수 측정을 위해서는 직접 모우드 시험을 실시해야 하나, 당시에 수중에 설치되어 작동중인 관계로 해석적인 방법으로 먼저 고유진동수를

예측한후에 동작상태의 진동신호를 측정하여 간접적으로 확인하였다. 해석은 유한요소법을 이용하였고, 상용 소프트웨어인 ANSYS를 사용하였다.[3]

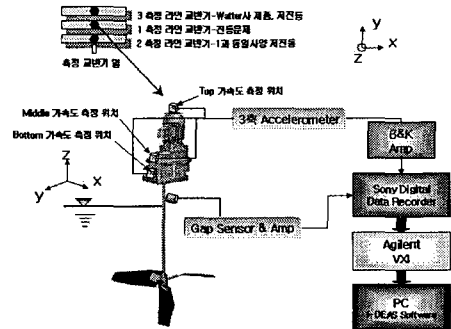


Fig. 2 Schematic of vibration measurement system

2.2 진동상태 측정 결과

진동 가속도 및 변위를 측정된 결과, 가속도계의 설치 위치에 따라 강도의 크기에는 차이가 있으나, 상·중·하 3개의 위치에서 모두 동일한 주파수 특성을 나타내었다. 따라서 가속도 신호는 감속기 바닥에 설치된 가속도계의 측정결과를 바탕으로 비교/분석하였다.

그림 3은 감속기 바닥부분의 X방향 가속도 신호를 측정된 결과이며, 3개조의 결과를 동시에 나타낸 것이다. 전체적인 레벨은 3개조가 유사하나 진동이 문제가 되는 교반조(제 1번)의 경우는 30Hz 부근에서 특정 peak가 발생함을 볼 수 있다.

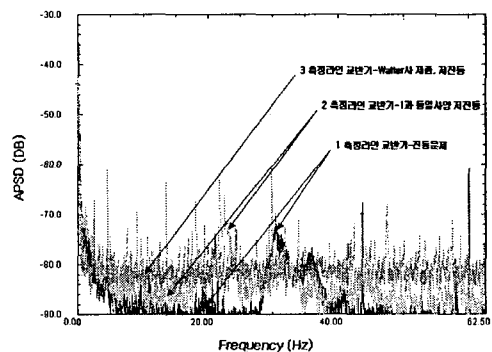


Fig. 3 Auto Power Spectral Density of acceleration signal(X direction)

그림 4는 동일한 조건에서의 Y방향 측정결과이다. 마찬가지로

가지로 30Hz 부근에서 주요 진동 주파수가 발생함을 알 수 있다.

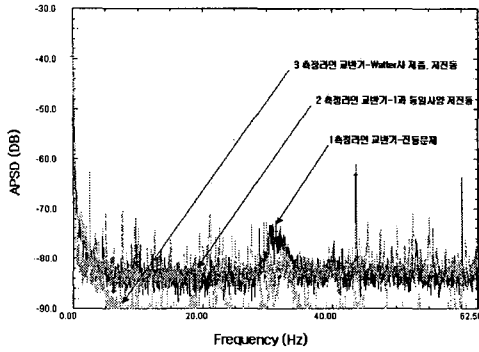


Fig. 4 Auto Power Spectral Density of acceleration signal(Y direction)

그림 5는 지면을 기준으로 수직 방향인 Z 방향을 측정 한 결과이다. 신호 양상을 보면 다른 방향과 마찬가지로 30Hz 부근에서 peak가 발생함을 알 수 있다. 진동이 문제가 되는 교반기 라인(제 1 번)에서 다른 정상적인 교반기에 비해 30Hz 부근에서 에너지가 매우 큰 것으로 보아 이 주파수 대역이 곧 진동을 느끼도록 하는 주파수임을 알 수 있다.

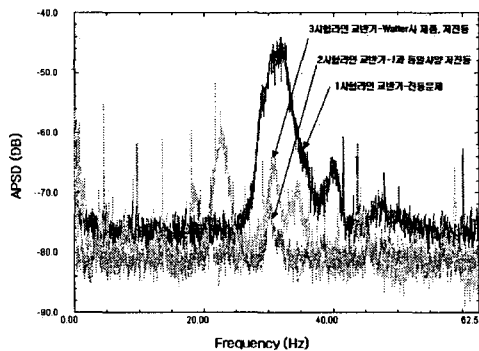


Fig. 5 Auto Power Spectral Density of acceleration signal(Z direction)

그림 6은 유체의 유출입 방향인 X방향으로 변위 센서를 설치하여 측정 한 결과로 3개조 모두에서 모두 동일한 주파수 특성을 보이고 있다. 전체적으로 약 4 개의 주요 peak 성분이 존재한다. 여기서 0.27Hz 성분은 교반기 축의 회전에 따른 회전 주파수 성분(16 rpm)을 나타내며, 0.54Hz와 0.81Hz는 각각 회전 주파수의 2배수와 3배수에

해당하는 정수 배의 주파수 성분을 나타낸다. 특히 그리고 1.8Hz성분이 나타나는 데, 이는 해석결과에서 나타날 교반기 축의 기본 고유진동 모우드로 보여진다.

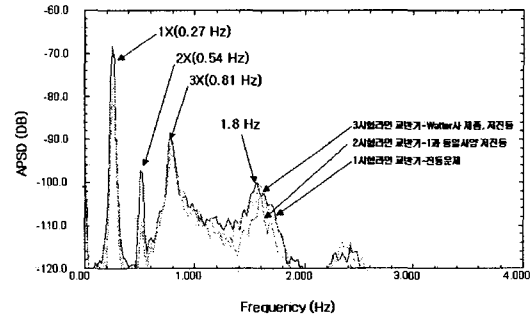


Fig. 6 Auto Power Spectral Density of displacement of the mixer's shaft in radial direction

3. 과진동 원인 분석

용집기 시설의 교반조의 교반기들을 대상으로 진동 및 변위를 측정하여 주파수 분석을 실시한 결과 30Hz 성분이 주요 진동 주파수로 나타났으며, 1.83 Hz 성분이 교반기 회전축의 기본 고유진동 주파수 일 것으로 추정되었다. 따라서 추정결과를 확인하고 주요 진동 주파수 성분의 발생원인을 정확히 알아보기 위하여 교반조 상판 콘크리트 구조물에 대한 간이 모우드 시험을 실시하여 고유진동 주파수를 측정하고, 교반기 축에 대한 유한요소 모델링 및 자유진동해석을 실시하여 고유진동 주파수를 분석하였다. 아울러 교반기 작동중에 가속도 및 변위 신호들 사이의 상관도 함수를 구하여 그 상관관계를 알아 보았다.

먼저 상판 콘크리트 구조물의 고유진동주파수를 알아보기 위해 교반기의 감속기부분 바닥에 Z방향으로 가속도계를 설치하였으며, 충격가진을 실시한 결과가 그림 7에 나와 있다. 여기서 상판구조물의 기본 고유진동 모우드가 약 30 Hz 성분임을 알 수 있으며 40 Hz 이후에서 다수의 모우드가 존재함을 볼 수 있다.

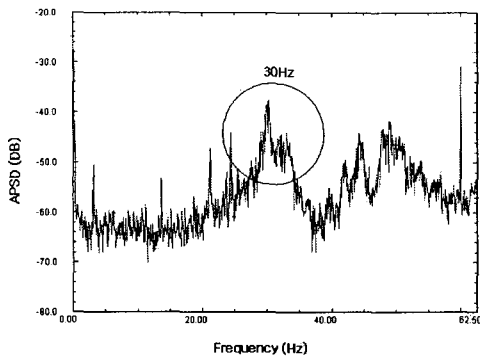


Fig. 7 Natural frequency of the upper structure

따라서 앞의 측정결과에서 나타난 30Hz 주요 주파수 성분은 콘크리트 상판 구조물의 기본 고유진동수임을 알 수 있으며, 과도한 진동을 발생시키는 주요 진동원일 것으로 사료된다.

그림 8은 교반기에 대한 자유진동해석 결과이다. 이때 교반기 축이 수중에 잠겨 있으므로 유한요소모델링 시에 부가질량 효과를 고려하였다. 그 결과 기본 고유진동모드가 약 1.8Hz의 Bending 모드임을 알 수 있으며, 이는 변위 신호의 측정결과와 잘 일치함을 볼 수 있다.

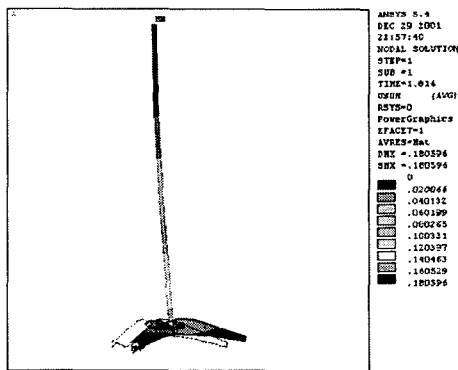


Fig. 8 Fundamental bending mode of mixer

그림 9는 과도한 진동이 발생하는 교반조에 대해 가속도 신호와 교반기 축의 변위 신호들과의 상관관계를 보여주는 결과이다. 30Hz 성분 이하의 저주파수구간에서는 상관도가 비교적 낮게 나타남을 알 수 있으며, 30Hz 부근에서는 비교적 높은 상관관계를 보여주고 있다. 여기서 알 수 있는 사실은 교반기 축의 회전과 관계한 주파수 영역이 아니라는 점인데, 이것은 교반기의 진동이 상판을 직접 가진하는 것이 아니라는 사실을 단적으로 추정 할

수 있다.

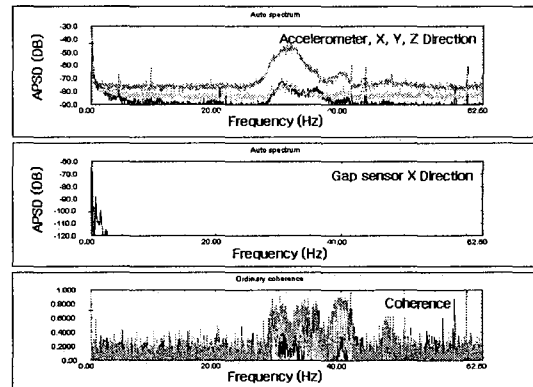


Fig. 9 Coherence between acceleration and displacement signals(at line 1)

그림 10은 정상상태 교반조의 가속도와 변위 신호의 상관관계를 보여주고 있다. 그림 9의 과도진동의 경우와 달리 각 주파수 대역 전 구간에서 상관도가 낮게 나타남을 알 수 있다. 특히 30Hz 부근에서 상판의 진동에 의한 주파수 성분이 보이기는 하나 그 값이 작고 교반기 축의 진동과의 상관도도 매우 낮게 나타남을 보여준다.

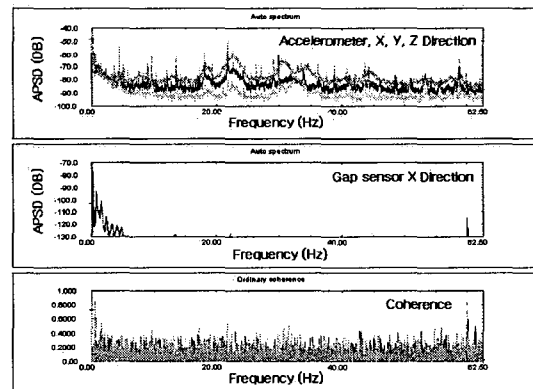


Fig. 10 Coherence between acceleration and displacement signals(at line 2)

상기 결과들을 종합해 볼 때, 과도한 진동이 발생하는 주요 주파수 성분은 약 30Hz이며, 이것은 교반조 상판 구조물의 기본 고유진동수이다. 그리고 교반기 자체의 고유진동수 및 주요 진동 주파수 성분들은 대부분 10 Hz 미만으로 나타났다. 따라서 교반조 시설에서의 과도한 진동의 원인(30 Hz 성분)은 교반기의 진동에 의한 것이 아니라 교반조 내 유체유동의 변동성분과 상판 콘크리트 구조물의 공진에 의한 것으로 판단된다. 또한 진동이 적

은 교반기의 주파수 특성이 진동이 큰 교반기의 주파수 특성과 유사하며, 문제가 되는 진동 주파수 구간 (30Hz-40Hz)을 제외한 부분에서 교반기 특성과 교반조 진동 특성과의 상관도가 작게 나타나는 것으로 볼 때 교반기 자체가 가진 원인이 아니라는 사실을 알 수 있다. 그러나 보다 정확한 원인 분석을 위해서는 교반조내 유체유동에 대한 주파수 분석이 추가적으로 필요하다.

4. 결론

이상과 같이 측정 및 해석 결과를 바탕으로 분석한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

- 교반조 상판 구조물의 기본 고유진동 주파수는 약 30Hz 이다.
- 교반기의 기본 고유진동 주파수는 약 1.8Hz 이다.
- 교반조의 파진동 원인은 교반기 자체의 진동에 의한 것이 아니라 교반조내 유체유동으로 인한 상판구조물의 공진에 의한 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) 2000, Hydrofoil-mixers, (주) 우진.
- (2) D. J. Ewins, 2000, Modal Testing: Theory, Practice and Application, Research Studies Press LTD.
- (3) Ray W. Clough & Joseph Penzien, 1975, Dynamics of Structures, McGRAW-HILL KOGAKUSHA, LTD.
- (4) 2000, I-DEAS/TDAS user's manual, MTS Inc.
- (5) 1992, Ansys user's manual for R. 5.0, Swanson Analysis Inc.