

대형교반기의 유지 관리에 관한 연구

강문후* · 양신범** · 김경표**

1. 서 론

교반기의 효율 가치는 수질, 대기 및 산업체 전반적으로 매우 고르게 적용이 되고 있으며 그 사용처도 갈수록 넓어져 가고 있다.

특히 21세기에 들어서면서 경제의 발전과 더불어 환경오염 사건이 빈번하게 발생함으로써 환경 보전에 대한 중요성이 커지고 이에 대한 설비를 국가별로 신규로 확대 설치하는 경향이 있음으로 국가적인 차원에서 교반기란 설비의 중요성도 매우 커지고 있다.

각 산업체 현장에서 사용되는 다양한 교반기의 설계 기술은 인터넷을 이용한 정보 공유로 인해 기술개발의 속도가 과거에 비해 비약적으로 발전이 이루어지고 있으나 유지 관리하기 위해 이루어지는 검증 방법은 현장 종사자들이 쉽게 오류 등을 파악하기는 힘들다.

그러므로 본 실험 결과보고서는 현장 운영자들에게 간단하게 요약 정리하여 하자 형태 및 원인을 쉽게 알 수 있고 대처할 수 있도록 하고자 하는 것이 목적이다.

2. Agitator의 설계 방법 및 유지 보수를 위한 진동 규제치 (소형~대형 교반기)

2.1. Slurry Concentration, %에 따른 설계 방법

상·하·폐수처리장에서 발생하는 생·화학 Slurry와 석유화학 및 발전소 등에서 사용하는 Lime Slurry 모두 동일한 설계 방식을 적용하여 교반 유동을 발생시킨다.

일반적으로 Slurry Concentration, %에 대한 Slurry 부양 성능은 Superficial velocitys (SV, 수표면 속도)

Table 1 Superficial Velocity for Solids Suspension

% Solid	Superficial Velocity(SV)	
	ft/min	m/s
2	6	0.03
4	10	0.05
6	12	0.06
8	14	0.07
10	16	0.08
12	18	0.09
15	21	0.10
20	25	0.13

값에 따라 정해지며 % Solid로 분류된 값은 Table 1.에 명시된 것과 같다.

여기서, SV값은 임펠러의 고유 형태에 대한 성능 기준으로서 사용되어진다. 즉, 임펠러의 형태에 따라 동일 회전수, 동일 직경이라도 그 값은 큰 차이를 보인다.

Table 1은 % Solid를 가진 각 조건들에서 침전된 Solid를 부양시켜 교반조 전체적으로 순환을 하게 하기 위한 최소한의 속도를 나타낸 것이다.

Solid의 부양을 발생하기 위해서는 2가지의 중요한 공식이 있는데 이는 Pumping Capacity와 Power이다.

이에 대한 공식은 다음과 같이 식 (1)~(3)으로 요약할 수 있다.

$$P = \frac{N_p \times \rho \times N^3 \times D^5}{2.48 \times 10^5} \text{ (kW)} \quad (1)$$

$$Q = \frac{N_Q N D^3}{60} \text{ (m}^3\text{/sec)} \quad (2)$$

* 주식회사 우진
 ** 주식회사 우진
 E-mail : kmh@woojinmixers.com

$$SV = \frac{Q}{I_r L_w} \text{ (m/sec)} \quad (3)$$

2.2. 회전 기계의 진동 규제치

회전기계류에서의 과도한 진동은 증가되는 응력과 에너지 손실의 합산 때문에 야기되어 진다. 이렇게 증가된 응력들은 각 기계 구성품들의 수명 감소를 유발시

Table 2 ISO 2372 : 10~200rev/s의 회전속도를 갖는 기계의 진동 평가 기준[rms]

Range of Vibration Severity	Example of Quality Judgement for Separate Classes of Machines			
	Class I	Class II	Class III	Class IV
rms Velocity (in mm/s)				
0.28	A	A	A	A
0.45				
0.71				
1.12	B	B	B	B
1.8				
2.8	C	C	C	C
4.5				
7.1				
11.2	D	D	D	D
18				
28				
45				
71				

- ① Class I : Small Machine(ex~15kW motor)
- ② Class II: Medium Size Machine(ex15~75 kW motor machine)
- ③ Class III: Large Machine(on ridge and heavy foundation)
- ④ Class IV: Large Machine(on relatively soft foundation, resiliently mounted)
- ⑤ Measurement Point : 진동에너지가 다른 시스템으로 전달되는 위치(resilient mountings, rotation masses, bearings), 3-directions
- ⑥ A : 양호, B : 사용가능, C : 조건부 허용, D(사용 불가)

킨다.

진동은 적절한 설계와 설치기술의 정확 여부에 따라 많이 감쇠를 시킬 수 있으나 완전히 제거할 수는 없다.

진동에 대한 연구는 매우 난해한 테마이며, 기계 설계자와 운영자들의 기술과 경험 등을 통합하여 해결하여야 한다.

Table 2 내용은 현장에서의 경험을 바탕으로 설계자들이 설계, 설치 및 운전시 회전 기계의 진동 허용 한계값을 나타내는 기준값으로 적용할 수 있다.

Table 2의 내용은 회전기계 (교반기 포함)에서 소형~대형까지 허용되는 진동 한계값을 나타내며 A~B 조건의 진동값이 나타날 경우에는 기계 및 주변 장치의 수명이 안정적으로 이루어 질 수 있다.

C의 조건일 경우는 그 원인을 파악하여 해결을 하면 사용이 가능하지만 D의 경우는 주변 구조물까지 심각한 영향을 미치기 때문에 필히 교체를 하여야 한다.

다음은 이와 관련된 설계 및 운영상 유지 관리 및 그 해결 예를 나타내었다.

3. Agitator의 하자 요인

3.1. Agitating 내용물의 성분 미분석으로 인한 하자 (예)

3.1.1. 반응조의 설계 사양

OO하수처리장의 슬러지 반응조에서는 슬러지의 침강 방지를 위해 교반하는 Agitator를 다음과 같은 조건과 설계 방식으로 설계를 하였다.

슬러지 반응조의 규격

- □L2.6 m×W2.45 m×H2.0 m = 12.74 m³

Reagents (반응내용물)

- Polyelectrolyte
- Powder
- Before on-line dilution :
Concentration of the solution 2 g/l (340 cp)
- After on-line of the solution 0.67 g/l (90 cp)
- Sludge
- Code BBI
- Type Sludge from low load biological treatment with biological phosphorus removal

- VSM 70%
- Sludge Concentration in tank 40~70 g/ℓ

3.1.3. 설계 및 하자 발생 형태

상기 3.1.1의 설계 사양으로 볼 때는 6~8% Solid를 기준으로 하고 그 때의 부양 조건인 0.06~0.07 m/sec (=12~14 fpm) 이상의 SV값을 유지하면 교반조의 Slurry Pumping에 충분한 유동을 줄 수 있는 것으로 계산된다. 그러나 현장에서 설치 운영하여 다음과 같이 A와 B 형태의 결과가 발생하였다.

Figure 1 94%의 함수율을 가진 슬러지 저류조의 구동 모습이며 폴리머 (Powder 형태)를 교반조에 살포하여 응집을 시키고 있다.

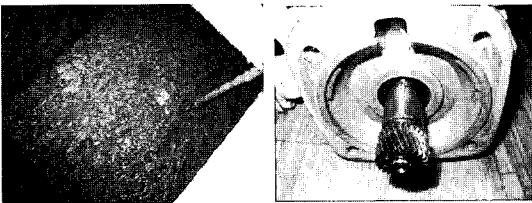


Fig. 1 교반기 교반(예)

Fig. 2모터 기어 손괴

Table 3 슬러지 반응조의 하자 형태

	A - Type	B -Type
적용 동력	0.37kW	1.5kW
임펠러 형태	3-Hydrofoil	3-Hydrofoil
임펠러 직경	Ø0.95m	Ø0.95m
적용 회전수	51rpm	67rpm
적용 SV값	0.063m/sec	0.083m/sec
하자 형태	6개월 구동 후 전류 급상승, 모터 소손	2개월 구동 후 모터, 감속기 축 기어 파손
하자 원인	교반이 진행될 수록 상층부부터 하층부로 슬러지 응고가 발생하여 교반기 구동부에 과부하가 발생함.	교반이 진행될 수록 상층부부터 하층부로 슬러지 응고가 발생하여 교반기 구동부에 과부하가 발생함. 즉, 출력 회전수가 빠름
결론	모터 용량 부족	모터 토크 부족

Figure 2는 Table 3의 B-Type을 적용했을 때 모터 및 감속기 토크 부족으로 인해 기어가 파손된 장면이다.

3.2. Agitator에 대한 운전 조건 및 구조 강도 미분 석으로 인한 하자 (예)

3.2.1. 반응조의 설계 사양

Limestone (소석회) 교반조에서의 Limestone Slurry 침강 방지를 교반하는 Agitator를 다음과 같은 조건과 방식으로 설계를 적용하였다.

Limestone 반응조의 규격 및 내용물

- Ø10.0 m×H12.0 m = 950 m³
- Solid Concentration in tank 20% Solid

상기 3.2.1의 설계 사양으로 볼 때는 20% Solid를 기준으로 하고 그 때의 부양 조건인 0.13 m/sec (=25 fpm) 이상의 SV값을 유지하면 교반조의 Slurry Pumping에 충분한 유동을 줄 수 있는 것으로 계산된다. 그러나 현장에서 설치 운영하여 다음과 같이 A와 B 형태의 결과가 발생하였다.

Figure 3은 탱크 외부의 점검 장면이다. 이 때, 발생

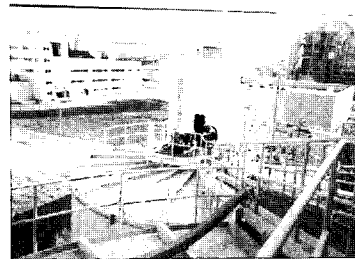


Fig. 3 현장 사진-탱크 높이 14 m



Fig. 4 구동부 파손 사진(누유 발생) - 37 kW, 37 rpm

하는 진동은 구동부가 1.6 mm/sec으로 나타나 안정적인 상태이다.

Figure 4는 추후 진동이 확대되었을 때 감속기 하부가 파괴되어 누유가 발생하는 장면이다.

Figure 5는 Table 4의 B-Type으로 Hub가 파손되어 축의 Unbalance가 확대되어 감속기 손괴가 발생한 사진이다.

Figure 6은 Table 4의 A-Type으로 볼트의 강도가 약해 파손되어 축의 Unbalance가 확대되어 감속기 손괴가 발생한 사진이다.

Figures 4~6의 상황은 모두 탱크의 진동이 기준치 이상이 진행될 때 발생되어 지는 상황임으로 이상 파괴

동시에 구동부의 손괴가 발생되기 전에 대처할 수 있다.

4. 하자 조치 방법(예)

4.1. 슬러지 반응조 조치 사항

Table 5는 상·하수 처리 설비에서 주로 발생하는 슬러지 반응조의 유지 관리시에 파손 및 이상이 발생하는 교반기에 대한 원인 파악 후 조치한 방법을 일례로 나타낸 것이다.

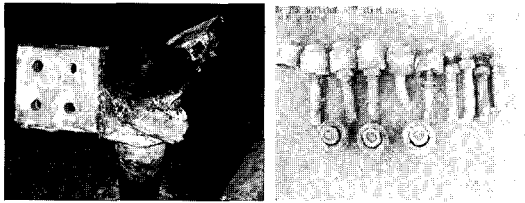


Fig. 5 HUB 파손 사진

Fig. 6 볼트 파손 사진

Table 4 Limestone Slurry 반응조의 하자 형태

	A - Type	B - Type
적용 동력	37 kW	37 kW
임펠러 형태	3-Hydrofoil	3-Hydrofoil
임펠러 직경	Ø3.1 m	Ø3.1 m
적용 회전수	37 rpm	37 rpm
SV값	0.128 m/sec	0.128 m/sec
하자 형태	6개월 후 임펠러 +HUB 연결용 볼트 파손	7개월 후 HUB 파손
하자 원인	Limestone의 교반시 조 높이가 매우 높아 Limestone의 입자들이 임펠러 주위에 많이 집중되어 결합 볼트에 인장력이 크게 발생함. 탱크의 진동이 매우 크게 발생	Limestone의 교반시 조 높이가 매우 높아 Limestone의 입자들이 임펠러 주위에 많이 집중되어 HUB에 굽힘 하중이 크게 발생함. 탱크의 진동이 매우 크게 발생
결론	구조 강도 약함	구조 강도 약함

Table 5 슬러지 반응조 교체 사양 및 결과

	C - Type
적용 동력	0.75 kW
임펠러 형태	3-Hydrofoil
임펠러 직경	Ø1.25 m
적용 회전수	20 rpm
SV값	0.06 m/sec
진행 상태	전류, 소음 및 슬러리 유동 양호
주안점	교반이 진행될수록 슬러리가 응고가 많이 발생하여 교반기 구동부에 과부하가 발생하기 때문에 높은 토크를 가진 감속기로 저속 회전을 이용하고 임펠러의 크기를 늘려서 큰 교반 유동이 되도록 함.
결론	슬러리의 %농도가 높거나 폴리머 등 응집용 약품을 첨가하는 임펠러의 크기는 키우고, 저속으로 높은 토크의 교반기를 적용해야 함.

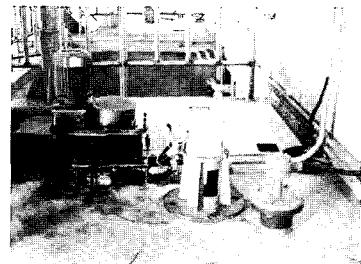


Fig. 7 구동부 교체 사진

Table 6 Limestone Slurry (반응조의 교체 사양 및 결과)

C - Type	
적용 동력	37 kW
임펠러 형태	3-Hydrofoil
임펠러 직경	Ø2.85 m
적용 회전수	37 rpm
SV값	0.114 m/sec
진행 상태	전류, 소음, 진동 및 슬러리 유동 상태 양호
주안점	Limestone의 교반시 조 높이가 매우 높아 Limestone의 입자들이 임펠러 주위로 많이 집중되어 결합 볼트/Hub에 인장력 및 굽힘력이 크므로 허브와 임펠러 강도를 키움 (M16에서 M24), 탱크 진동 유발의 원인인 임펠러 Pumping력에 의한 반동력이 감소되도록 임펠러 크기를 줄임
결론	큰 비중을 가진 Solid의 농도는 완전 믹싱된 상태에서의 설계 강도보다 강한 구조로 설계해야함

4.2. Limestone 교반조 조치 사항

Figure 8은 Hub 및 볼트를 수정 제작 후 조립 점검하는 장면이다.

Figure 9는 재 설치한 교반기를 테스트 후 외부 진동과 믹싱 상태를 점검하는 장면이다.

Table 6은 화학플랜트 등 처리 설비에서 주로 발생하며 유지 관리시에 이상 진동이 발생하면 관련되는 원인은 임펠러 축, 허브, 임펠러 또는 구동부 베어링 등의 손상이 있어 발생하는 경우가 많으므로 주의하여 운전을 하여야 한다.



Fig 8. 임펠러 점검 장면



Fig 9. 현장 점검 사진

5. 결론

본 실험의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 상·하·폐수 및 기타 산업체에 적용되는 교반기의 설계 및 운전시에 발생하는 하자 등을 점검할 경우에는 설계 Data와 기타 주변의 여건 등을 충분히 파악하여야 한다.

관련 Data에서 일부라도 Factor를 잘못 적용하면 Process 전 공정에 심각한 문제가 발생할 수 있다.

2) 제작 업체에서 설계 및 납품할 때와 운영상 하자 조치를 실시하는 것은 다분히 다음과 같은 다른 점이 있다.

- 설계에서 미진한 부분은 납품 전에 보완할 수 있는 시간적 여유는 있지만 납품이 된 상태에서 하자가 발생하여 전 공정에 치명적인 타격을 입히면 하자 원인 분석에 많은 시간이 소요되며 철저한 원인 분석이 이루어지는데 많은 제약이 따른다. 이는 현장 여건상 시간제약이 크다. 발생한 문제라면 충분히 원인을 숙지하고 그 해결책을 가장 올바르게 세울 수 있는 시간과 조건 등을 갖추는 것이 무엇보다도 중요하다.

3) 소형 또는 대형 교반기의 유지 관리를 위해서 가장 빠르게 문제점을 판단할 수 있는 것은 모타의 전류를 확인하는 것과 진동 발생이 생기는 가를 점검하는 것이다. 거의 대부분의 문제에 대한 결과는 과전류와 진동의 확대로 생기기 때문이다.

후 기

본 실험은 2003년~2005년 각 산업체 현장에서 발생한 한 문제를 해결하는 가정에서 수행되었습니다.

참고문헌

- (1) American Water Works Association Research Foundation, 1991, "Mixing in Coagulation and Flocculation," pp. 397. 413~414.
- (2) Second Edition officially approved by AIChE Council on November 24, 1987, "Mixing Equipment (Impeller Type)."