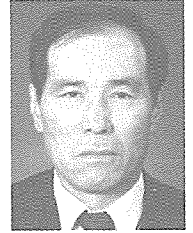


하·폐수처리의 유지관리비 절감을 위한 제안



이복춘 | 환경(수질), 화공(고분자)기술사
 한국과학기술정보연구원 전문위원
 인천지역 환경기술개발센터 홈닥터
 E-mail : bchlee46@empal.com

1. 서언

- 1-1. 수처리 시설에서 기술의 발달로 처리수질은 지속적으로 개선되고 있지만, 데이터의 부족으로 유지관리비에 대해서는 소극적으로 대처해온 것이 사실이다.
- 1-2. 그러나 생활하수를 비롯하여 제지폐수 등 유입수의 수질이 안정되고 비교적 처리하기 쉬운 하·폐수 처리에서는 처리수질과 함께 유지관리비를 관련시켜 점검할 필요가 있다.
- 1-3. 생물학적 처리공법을 적용하고 있는 모든 하·폐수처리시설에서 유지관리비와 관련이 있는 부분은 폭기조의 DO와 MLSS농도를 비롯하여 사용하고 있는 약품이라고 예상하고 있으나 적용한 사례가 없고 확신이 없어서 주저해온 것이 사실이다.
- 1-4. 이번 원고는 본인이 한국과학기술정보연구원에 재직하면서 입수한 자료로 일본의 TOKYO도 하수처리장에서 활성오니모델(ASM)에 의해 예측되고 검증된 데이터임을 밝혀둔다.

2. 하수의 고도처리시설(A₂O)에서 적용사례

- 2-1. 생물학적 처리시설에서 처리수질의 향상과 함께 동력비의 절감도 요구되고 있지만, 2종류의 현상 사이에는 역 상관관계가 있다. 즉 일정한 구간 내에서 처리수질의 향상과 함께 오히려 동력비의 상승을 초래한다.(〈표-2〉 DO와 처리수질의 관계 참조)
- 2-2. 질소와 인을 동시에 제거할 수 있는 고도하수처리 공법으로 A₂O법이 있다. A₂O법에서 처리수질과 동력비에 영향을 미치는 운전조건으로서 DO(송풍량), 반송오니량(반송율), 질산화액 순환량(순환율), MLSS 등을 들 수 있다.
- 2-3. 활성오니모델 소프트웨어를 사용한 시뮬레이터를 적용하기 위해서 활성오니모델의 계수를 조율하였다. 하수처리장에서 시행하고 있는 분석결과를 이용하여 계수를 조율하지만, 데이터가 부족하면 실제로 분석해서 사용하였다. 인의 경우에는 처리수의 농도가 낮으므로, 인의 방출반응과 섭취반응을 확인하기 위해서는 반응조 내의 농도를 가지고 조율 내지 판정할 필요가 있다. 이러한 조율결과를 가지고 BOD,

T-N, PO₄-P 등에 대해 실측치와 계산치를 비교하였던바 거의 모두 일치하는 결과를 얻었다.

2-4. 이러한 조율결과를 폭넓게 검증하기 위해 DO와 유입수량을 단계적으로 변화시켰을 때 처리수의 T-N과 PO₄-P를 측정하였다. T-N, PO₄-P 양쪽의 제거율을 예측하기 위해서 모든 운전조건에서 조율하였던 계수를 오차범위 5% 이내에서 적용할 수 있었다.

2-5. 처리수질과 동력비의 평가: 처리수질에 영향을 미치는 운전조건은 DO와 순환율로 여기에서는 DO의 설정치를 변경하면서 처리수의 수질을 조사하였다. 여기에서 처리수질의 목표치를 BOD 10mg/l, T-N 10mg/l, PO₄-P를 0.5mg/l로 정하였다.

(1) 순환율이 150%일 때 BOD의 목표치를 만족하기 위한 DO는 0.5~2.5mg/l, 동일하게 T-N의 경우에는 1.3~2.5mg/l, PO₄-P의 경우는 0.8~2.5mg/l이었다.

(2) 그러므로 처리수의 BOD, T-N, PO₄-P의 목표치를 모두 만족하기 위한 DO설정치는 1.3~2.5mg/l인 것을 알 수 있었다.

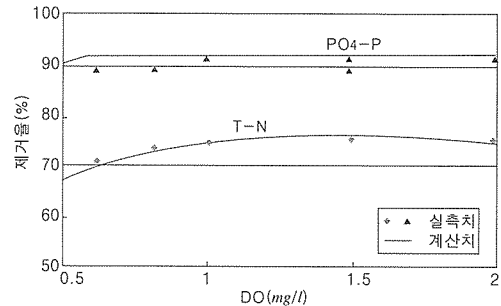
2-6. 동일한 수질을 유지하기 위한 DO와 순환율의 조합은 여러 종류가 있으므로, DO를 0.1mg/l 간격으로 1.0~2.5mg/l까지 순환율을 10% 간격으로 50~200%까지 변화시켰을 때 처리수의 T-N을 예측하였다.

(1) 처리수의 T-N을 10mg/l 이하로 유지하기 위한 운전조건은 DO 1.0mg/l에서 순환율이 200%, DO가 1.5mg/l에서 순환율은 140%이상, DO가 2.0mg/l에서 130% 이상으로 나타났다.

2-7. 기존의 운전조건인 DO 1.5mg/l와 순환율 100% 조건에서 처리수의 T-N은 11.3mg/l이다.

(1) DO를 1.5mg/l로 고정하고, 처리수의 T-N을 10mg/l이하로 유지하기 위해서는 순환율을 150% 이상으로 하여야 한다.

(2) 그러나 동력비 측면에서 보면 DO를 1.3mg/l, 순환율을 160%로 하는 것이 유리하다.

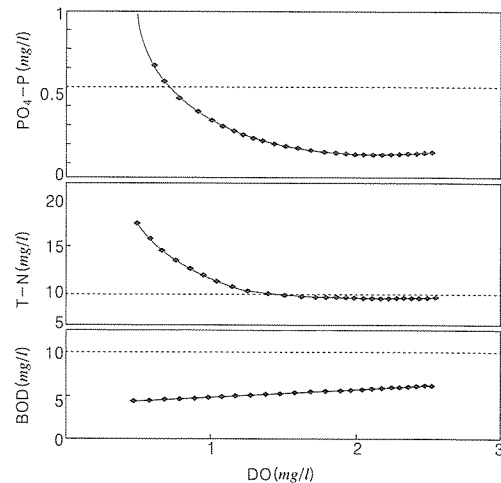


〈표-1〉 DO변화와 제거효율

처리장조건: 폭기조 7460m³, 최종침전지 1533m³

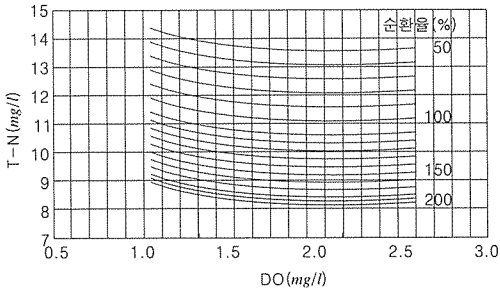
유입조건(평균): 유량 450m³/hr, PO₄-P 2.7mg/l, BOD 71mg/l, 수온 20℃, T-N30mg/l

운전조건: 반송율 60%, 순환율 150%, DO1.5mg/l



〈표-2〉 DO와 처리수질의 관계

처리장조건: 폭기조 7500m³, 최종침전지 1500m³
 유입조건(평균): 유량 500m³/hr, PO₄-P 1.8mg/l, BOD 200mg/l, 수온 20℃, T-N 40mg/l
 운전조건: 반송율 50%, 순환율 150%, MLSS 2000mg/l



〈표-3〉 DO, 순환율과 처리수 T-N의 관계

처리장조건: 폭기조 7500m³, 최종침전지 1500m³
 유입조건(평균): 유량 500m³/hr, PO₄-P 1.8mg/l, BOD 200mg/l, 수온 20℃, T-N 40mg/l
 운전조건: 반송율 50%, 순환율 150%, MLSS 2000mg/l

3. 배출오염 부하량, 소비전력 및 동력비의 관계

3-1. 하수시물레이터로 처리수질의 일간 변동을 계산하였다. 즉 운전조건 변경에 따라 하수처리장에서 배출되는 오염물질의 총량(배출오염 부하량)과 소비전력 그리고 동력비에 미치는 영향을 검토하였다. 오염물질 지표로 T-N을 사용하였다.

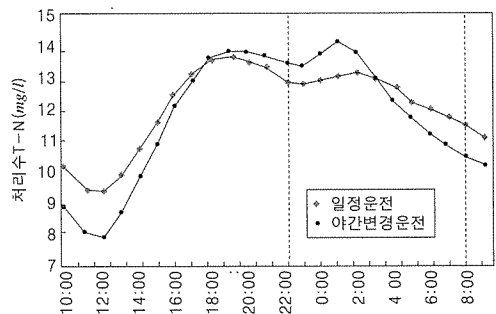
(1) 이 결과에 의하면 3시에서 18시까지의 야간 변경 운전, 18시에서 3시까지는 일정운전조건에서 처리수질이 양호하였다.

(2) 모든 운전조건에서도 12시에서의 처리수 T-N 수치가 가장 양호하였다. 이것은 유입수질과 유입수량이 6시경에 최소로 되고, 그 영향이 5~6시간 후에 처리수질로 나타나는 것으로 예측된다.

3-2. 다음 야간 변경운전 조건에서 송풍기와 순환펌프의 출력을 조정하여 운전기간 중에 DO에 미치는 영향을 검토하였다. 배출오염 부하량은 처리수질과 처리수량을 곱한 것이고, 소비전력과 동력비는 송풍기와 순환펌프의 운전량에서 구하였다. 운전기간 중에 DO를 저하시키면 예상되는 바와 같이 배출오염 부하량은 증가하지만 동력비는 절감된다. 그러나 일정 운전과 동일한 배출오염 부하량을 나타나게 하는 야간운전 변경조건외의 DO설정치는 0.8mg/l이다. 이러한 조건으로 야간운전을 하면 일정운전 조건보다 소비전력을 1.0% 절감할 수 있다.

3-3. 일정운전조건과 동일하게 전력을 소비하게 되는 야간 변경운전의 DO설정치는 1.1mg/l이고, 이때 일정운전과 비교해서 배출오염 부하량을 3.2% 절감할 수 있다.

3-4. 주야간 전력비의 차이를 고려하여, 전력비가 동일하게 되는 야간 변경운전의 DO 설정치는 1.4mg/l로 배출오염 부하량은 4.8% 절감할 수 있지만, 소비전력은 역으로 0.8% 증가하였다.



〈표-4〉 일정운전과 야간변경운전에서의 처리수의 T-N농도 예상치

4. 초침오니 투입방법

4-1. 질소, 인 제거를 향상시키기 위하여 미생물의 유기물 공급원으로 최초 침전지에서 발생하는 초침오

니를 폭기조에 투입하는 방법이 최근에 보고되고 있다. 폭기조에 투입된 초침오니는 미생물에 의해 분해되기 때문에 처리장 전체로 보면 오니발생량을 절감할 수 있게 된다.

4-2. 초침오니를 투입하면 분해되지 않는 초침오니가 축적되어 MLSS 농도를 증가시키므로 SRT(오니 체류시간)가 변화해서 초침오니의 분해량 변화로 처리수질과 오니발생량에 영향을 미치게 된다. 초침 오니 축적량은 투입량과 함께 SRT가 관계한다.

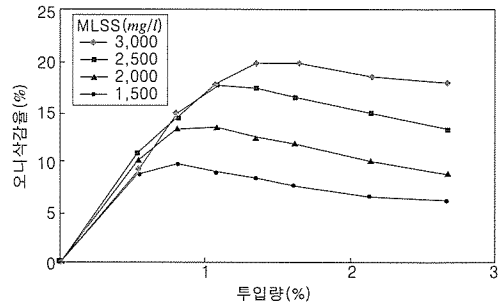
4-3. 일정한 MLSS농도에서 초침오니 투입량에 따른 오니발생량 변화와 처리수의 T-N수치변화를 조사하였다. 초침오니를 투입하지 않고, 하·폐수 처리 시설에서 발생한 전체 오니량을 기준(100)으로 오니발생 절감율을 산출하였다.

(1) MLSS 농도가 1500mg/l일때 오니발생 절감율은 최대 10%이지만, 3000mg/l일때는 20% 절감이 가능하였다.

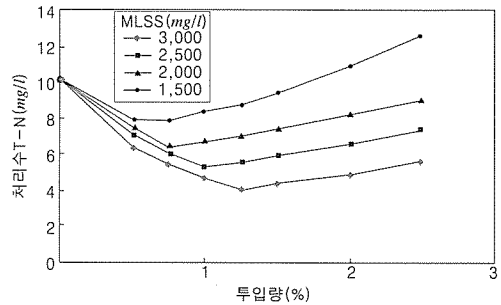
(2) 처리수의 T-N 수치도 MLSS 수치에 따라 변화하였다. MLSS 농도가 1500mg/l일때 처리수의 T-N 수치는 8mg/l이지만, 3000mg/l에서는 T-N 수치를 4mg/l까지 처리할 수 있었다.

(3) 투입하는 초침오니량이 적정량을 초과하면 분해되지 않는 초침오니가 축적하기 때문에 활성오니의 비율이 저하하므로 초침오니의 분해량과 T-N 제거량도 변한다.

이러한 초침오니의 적정한 투입량은 MLSS 농도에 따라 달라 MLSS 농도가 1500mg/l일때 0.5%, 3000mg/l일때 1.25%로 나타났다. 초침 오니 투입량은 MLSS를 지표로 제어되어야 한다.



〈표-5〉 투입량과 오니 삭감량의 관계



〈표-6〉 투입량과 처리수의 T-N농도

5. 결론

5-1. 하·폐수 처리장에서 경험과 직감만으로 유지관리하고, 유지관리비에 관계없이 처리수질만을 논의하는 시대는 지났다.

5-2. 이 원고에서 제시한 내용은 검증된 내용이므로 계기오차범위를 감안해서 활성오니모델을 채택하지 않고 있는 현장은 물론 고도처리를 하지 않고 있는 현장에 직접 적용해도 무리가 없다고 본다. 그리고 보다 현장에 세밀하게 적용하기 위해 실험대상을 선정하거나 실험방법을 선정하는 데 크게 참고가 된다고 본다.

5-3. 동력비 절감을 위해 송풍기의 가동대수를 조절하는 경우도 있으나, 송풍기 수로 조절할 수 없는 경우

는 특정 송풍기에 대해 인버터를 설치하여 회전수 조절에 의해 동력을 절감할 수 있다. 그리고 펌프 용량변경을 위한 방안도 강구되어야 하나, 이러한 내용은 단기간 내에 유지관리비 절감액으로 충당할 수 있다고 본다.

5-4. 하·폐수처리장에서 DO농도는 주요 오염 관리지표를 모두 만족할 수 있도록 설정되어야 하나 1.3 mg/l 이상을 초과하는 경우는 처리수질의 향상에는 크게 기여하지 않고 동력만 낭비하는 결과를 초래한다. 일반 하·폐수처리장에서 주요오염 관리지표는 BOD이고, 고도 처리시설에서는 BOD 외에 T-N, T-P가 해당된다.

5-5. 하·폐수처리장에서 유입량 변동에 따라 야간 운전변경조건과 일정조건 등 2가지 조건으로 구분하여 운전할 필요가 있다 야간 운전변경 조건에서 DO 농도 설정치는 0.8mg/l가 적당하나, 일정조건에서는 1.3mg/l가 적당하다.

5-6. 일본 하수처리장의 경우 3시에서 18시까지는 야간변경운전, 18시에서 3시까지는 일정운전조건으로 처리하고 있으나 하수의 유입량 변화는 유입관로에 크게 영향을 받으므로 각 처리장에서는 유입량 변동을 사전에 조율할 필요가 있다.

5-7. 고도처리장에서 T-N처리를 위해서 DO농도와 함께 질산화액 순환율이 동시에 검토되어야 한다. T-N농도를 10mg/l이하로 유지하면서, 동력비 측면에서 가장 유리한 조건은 DO1.3mg/l, 질산화액 순환율 160%이다.

5-8. 초침오니를 폭기조에 투입하여 오니 발생량을 크게 삭감할 수 있으나 분해되지 않는 초침오니에 의해 처리수의 수질이 영향을 받으므로 초침오니 투입량은 MLSS를 지표로 제어되어야 한다.

5-9. 이와 같이 유지관리비를 절감하는 방안은 활성오니모달을 사용해서 최근에 개발된 성과품으로, 우리나라에서도 우리의 특성에 맞게 부분적으로 수정하고, 새로운 방안도 지속적으로 개발할 필요가 있다. 현재 국내에서는 일부 대학에서 활성오니모달에 대한 연구 활동이 진행되고 있으나, 유지관리비 절감액의 규모나 그 파급효과는 물론 다음의 개선활동을 위해 일본의 사례와 같이 중앙정부 또는 최소한 광역자치단체 수준에서 시급히 활성오니모달을 도입하여 전파할 필요가 있다고 본다.

5-10. 본문의 이해를 돕기 위하여 참고문헌에서 제시되어있는 원래의 도표를 스캐닝하여 모든 도표로 사용하였으니 참고하기 바란다. ◀

【 참고문헌 】

Takeshi TAKEMOTO, Kouji KAGEYAMA, Naoki HARA, Bunchi KIMURA; Application of Activated Sludge Model for the Control of Wastewater Treatment plant, 용수와 폐수, Vol. 46, 1010. 845~851p(2004)