폭기조 용존산소농도 제어에 의한 전력 비용 분석

목차

1. 하 · 폐수처리장 시스템 분석의 중요성
2. 시스템 분석에 의한 활성슬러지공정 최적화
3. 폭기조 용존산소농도 제어에 의한 전력 비용 분석
4. 시뮬레이션을 이용한 농축조 운영관리 개선 방안
5. 수학적 모델을 이용한 질소 · 인 처리 공정 설계

안 세 영
(주)수엔지니어링&컨설팅 대표이사

하수처리장 운영비용

환경부가 조사한 하수처리장 유지관리비 소요현황을 보면, 가동중인 172개소의 하수처리장(2000년 기준) 운영비용은 약 3,100억원으로 조사 되었다. 총 운영비용 중 가장 많은 부분을 차지한 것은 인건비로 1,020억원 이었고, 그 다음으로는 전력비용이 총 비용의 22%인 670억원으로 보고 되고있다. 산업폐수 처리장과 오수 처리장의 유지관리비 소요현황은 아직 집계된 바는 없으나, 총 운영비용에서 전력비가 차지하는 비율이 하수처리장의 경우와 같이 매우 높은 것으로 추정된다.

하 · 폐수처리장에서 소비되는 전력의 상당 부분이 폭기조 공기공급시설을 유지하는데 사용되기 때문에 공기공급시설을 효율적으로 관리하면 소요되는 전력을 절감할 수 있어 높은 비용 절감 효과를 얻을 수 있다. 이번호 환경기술보고에서는 송풍기 또는 기계식 폭기기등의 폭기조 공기공급시설이 자동제어장치에 의해서 운영될 때 어느정도의 전력비용을 절감할 수 있는지 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 조사해 보기로 하겠다.

용존산소농도

하 · 폐수처리장의 생물학적 처리공정에서 용존산소는 미생물의 성장, 내생호흡등과 같은 생물학적 활동에 영향을 주는 중요한 인자이다. 폭기조의 미생물은 biofluccul ation에 의해서 플럭으로 존재하게 되는데, 플럭의 내부까지 산소를 원활하게 전달하려면 용존산소농도를 2.0mg/L 정도 유지하여야 한다. 폭기조의 용존산소농도가 낮아지면 사상균이 번성할 가능성이 높아지고, 질산화 박테리아의 성장과 활동능력이 저하된다. 이와는 반대로

폭기조 용존산소 농도를 3.0mg/L 이상이면 전력 에너지를 낭비하는 요인으로 작용할 수 있으며, 폭기에 의한 교반강도가 상대적으로 강해질수 있어 최종침전지에서 슬러지의 침강성을 떨어뜨릴 수 있다.

활성슬러지공정에서 폭기시설의 공기공급량을 조절하는 자동제어장치를 이용하여 폭기조 용존산소농도를 2.0mg/L로 유지할 경우와 제어장치 없이 전체폭기조의 용존산소농도를 2.0mg/L 이상으로 운영할 경우에 각각의 공기공급시설이 소비하는 전력량을 비용으로 환산하여 비교하였다. 전력비용 분석을 위하여 지난호 환경기술보고 기사인 "시스템분석에 의한 활성슬러지공정의 최적화"에 인용되었던 A 하수처리장의 폭기조와 최종침전지의 설계자료를 사용하였고, 폭기조 미생물의 산소요구량의 일변화를 분석하기 위하여 유입하수량의 평균치 대신에 시간별 유입하수 변화량을 입력 자료로 사용하였다.

조사대상 처리시설

처리장 설계용량은 표 1에서 볼 수 있는 바와 같이 30,000m^3/day 이며, 유입수질은 BOD_5 농도 140mg/L, SS 농도 130mg/L, TKN 농도 40mg/L 이다. 폭기조의 용적은 7760m^{3}이며, 최종 침전지 수면적은 1231m^2, 깊이는 3m로 설계되었다. ASM No. 1(IAWPRC, 1986)에서 제시한 동역학계수와 화학양론계수를 사용하여 시뮬레이션 해본 결과 최종침전지로부터 배출되는 유출수의 BOD_5 농도는 9mg/L, SS 농도는 13mg/L로 산출되었으며, 이 때 폭기조 내의 MLSS 농도는 1500~1600mg/L로 계산되었고, TKN의 98% 이상이 미생물의 성장과 질산화반응에 소요 되었다.

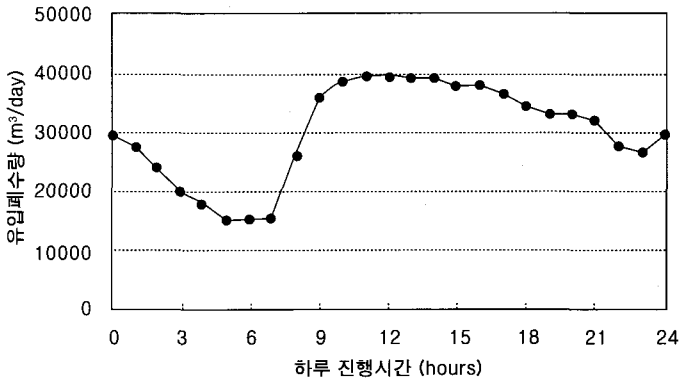
표 1. A하수종말처리장 폭기조 및 최종침전조 설계기준

구 분	설계기준	비 고
유입하수량	30,000 m^3/day	그림 1 참조
폭기조 유입 BOD_5	140 mg/L	처리수질 20 mg/L
폭기조 유입 SS	130 mg/L	처리수질 30 mg/L
폭기조 유입 TKN	40 mg/L	NH_3-N/TKN=0.65
폭기조 용적	7,760 m^3	장방형 8지
최종침전지 수면적	1,231 m^2	원형 방사류식
깊이	3 m	
수면적 부하	24.4 m^3/m^2-day	
잉여슬러지 배출량	375 m^3/day	
반송률	25%	

유입하수량 시간별 변화

그림 1은 시간당 하수 유입량의 일변화를 가정한 것으로, 오전 5시에 최저 유입량인 15,600m^3/day를 나타내고 있으며, 하루 생활이 시작되는 오전 7시경 유입하수량이 급격히 증가하여 오전 11시경에 최고치인 39,600m^3/day를 보이고 있으며, 오후 2시경을 기점으로 점차적으로 감소하고 있다. 본 조사에서는 유입수질(BOD_5, SS, TKN)의 시간별 변화를 고려하지 않았다.

그림 1. 하루 유입폐수량의 시간별 변화



자동제어장치를 사용하지 않은 경우

유입하수량이 시간별로 변화함에 따라 유입부하량이 변하게 되는데, 이러한 변화는 폭기조 미생물이 유기물과 암모니아성 질소의 산화반응에 소요되는 산소요구량을 변화시킨다. 먼저 자동제어장치 없이 공기공급시설을 운영하여 폭기조 용존산소농도를 2.0mg/L 이상으로 유지하기 위한 모의실험을 해 보았다. 그림 2에 나타난 것과 같이 유입부하의 변화에 따라 폭기조 용존산소농도는 2.0~4.7mg/L의 범위에서 변화되는 것으로 계산되었다.

그림 2. 폭기조 용존산소농도와 공기공급량 변화.

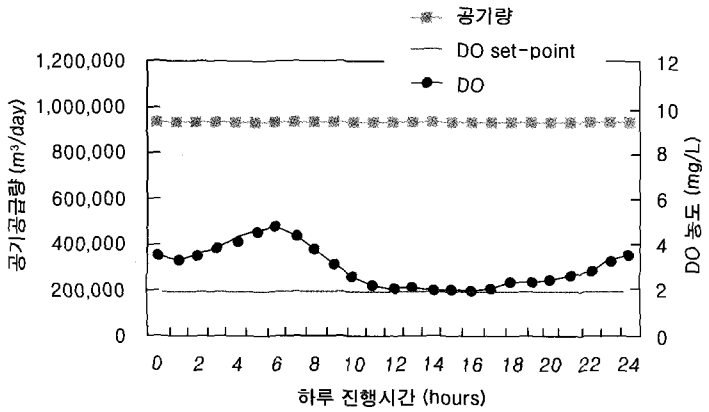


그림 1과 그림 2를 비교해 보면 유입하수량 감소에 의한 부하량 감소로 폭기조 용존산소농도가 증가하였으며, 반대로 유입하수량이 상승하면 부하량이 증가하여 폭기조 용존산소농도가 떨어지는 것을 볼 수 있다. 폭기조의 용존산소농도를 유입하수량의 변화에 관계없이 2.0mg/L 이상으로 유지해 주기 위해 공급된 공기량은 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 945,000m³/day로 일정한 값을 보여준다.

자동제어장치를 사용한 경우

이번에는 자동제어장치를 사용하여 폭기조 용존산소농도를 2.0mg/L로 일정하게 유지해 줄 수 있는 공기공급량을 계산해 보았다. 폭기조내의 용존산소농도를 2.0mg/L로 일정하게 유지하려면 유입하수량이 증가할 때 공기공급량을 늘려주어야 하며, 하수량의 유입이 감소할 때는 부하량 감소로 인해 폭기조에 공급되는 공기량을 줄여주어야 하는데, 이러한 방법으로 공기공급시설을 조절해 줄 수 있는 제어장치를 시뮬레이터 상에서 가동하였다. 그림 3은 자동어장치를 가동하여 시뮬레이션한 결과치을 보여주고 있는데, 하루 진행시간동안 폭기조 용존산소농도를 2.0mg/L로 유지하기 위해서 공급되는 공기량은 420,000~714,000m³/day의 범위에서 변화하고 있다.

전력비용 계산

제어장치를 이용하여 폭기조 용존산소농도를 2.0mg/L로 일정하게 유지한 경우(그림 2)와 제어장치 없이 용존산소농도를 2.0mg/L 이상으로 유지한 경우(그림 3) 모두 폭기조 미생물에 충분한 산소를 공급하고 있기 때문에 처리성능에서 차이는 없으나, 공기공급량에서의 차이, 다시말하면 공기공급시설의 가동시간이 서로 다르기 때문에 그로 인해 소비되는 전력량에서 많은 차이를 보인다. 상기의 각 경우에서 사용된 전력량을 계산하면 공기공급시설에 소요되는 전력비용을 산출해 낼 수 있다.

산업용 전력의 경우 기본요금과 사용요금으로 나뉠 수 있는데 본 환경기술보고에서는 기본요금을 제외한 사용요금만을 계산해 보았다. 산업용 전력 사용요금은 계절별, 하루 시간별로 차이가 나는데, 이러한 차이를 감안하여 kw-hour당 평균 50원으로 계산하였다.

그림 4는 공기공급시설의 시간당 소비전력량과 kw-hour당 전력비를 계산하여 하루 진행시간별 누적값을 나

그림 3. 용존산소농도를 2.0 mg/L로 제어하였을 때 공기공급량 변화.

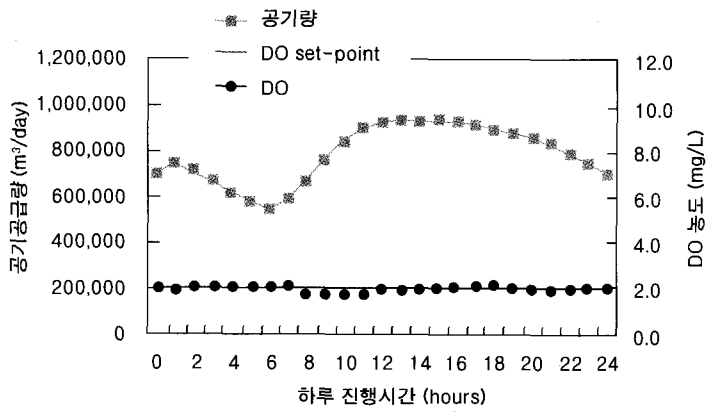
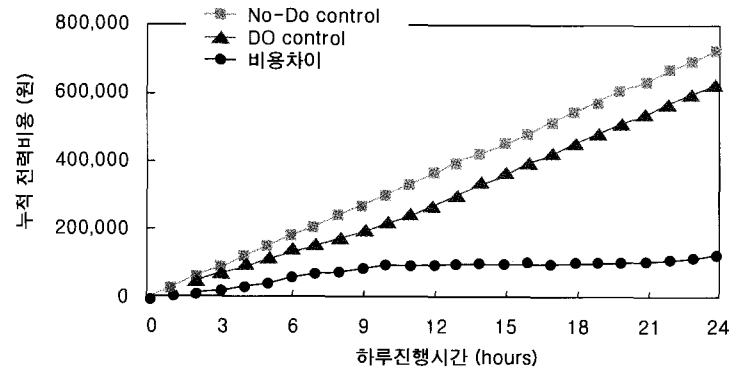


그림 4. 폭기조 용존산소농도 조절에 따른 누적 전력비용



타낸 것이다. 자동제어장치가 설치되지 않은 폭기조의 경우 공기공급시설에 소요되는 하루 사용전력비용이 712,000원으로 계산되었고, 폭기조 용존산소농도를 조절할 수 있는 제어장치가 있는 경우 하루 전력비용은 602,000원으로 산출되었다. 폭기조 용존산소농도를 2.0mg/L로 일정하게 유지할 수 있는 자동제어장치를 사용하면 하루 전력사용비용을 110,000원 절감할 수 있는 것으로 나타났으며, 1년 동안 전력사용비용의 차이액을 계산해 보면 그 절감액이 무려 40,150,000원에 이르는 것을 알 수 있다.

처리시설용량이 30,000m³/day인 A 하수종말처리장의 폭기조 공기공급시설에서 절감할 수 있는 전력비용을 계산하면 년간 톤당 1,338원이다. 우리나라 하수처리장 172개소의 총 처리용량이 18,319,000m³/day로 조사 되었는데(2000년, 환경부), 절감액인 년간 톤당 1,338원을 하수종말처리장의 총 처리용량인 18,319,000m³/day에 적용해 보면 폭기조의 공기공급시설의 운영비용에서만 년간 245억원을 절감할 수 있다는 계산이 나오는데, 이는 2000년 하수처리장의 총 전력비용의 37%를 차지하는 큰 액수이며, 처리용량 10,000 m³/day 규모의 하수종말처리장을 건설할 수 있는 비용이다.

결론

이번호 환경기술보고에서는 하·폐수처리장 운영비용평가의 간단한 일례를 들어 보았다. 하·폐수처리장의 건설와 운영관리는 상당한 비용이 소요되는 사업이기 때문에 반드시 시설비용과 운영비용을 분석·평가할 필요가 있으며, 그 평가결과로부터 절감할 수 있는 비용 규모도 매우 크다. 시설 및 운영관리 비용에 대한 계량화된 분석은 처리시설의 효율성을 증가시킬 수 있는 근거자료를 제시해 주는데, 그 이유는 시설의 성능과 효율의 많은 부분이 비용적인 측면에서 고려되기 때문이며, 이러한 비용을 평가하기 위한 방법들 중에 수학적 모델과 컴퓨터 시뮬레이션을 기반으로 하는 데이터 분석 기술이 최선의 방법이라 할 수 있다.

다음호에 계속 …