

자율적 환경관리를 위한 환경경영기술 (4)



서울시 수도기술연구소 기술개발부장 이규성 박사

4. 연속회분식 활성오니공법

4-1. SBR (Sequence Batch Reactor)

물은 지구촌의 인간을 비롯한 생명체뿐만 아니라 모두에게 필요한 요소(factor)이며, 생명을 유지하는데 없어서는 안될 귀중한 자원이다. 또한 물은 우리 인간에게 건강한 삶을 영위 하는데 필요한 휴식공간을 제공해 주고도 있다.

최근 들어 깨끗해야만 할 물이 인구증가, 산업화, 도시화, 국토개발로 인해 적조현상, 하천오염 등 수질오염이 심각하다. 이 수질오염을 해결하기 위해서 수질오염방지기술이 중소규모용량은 BOD처리만 가능한 활성오니공법에서 BOD, N, P를 처리하는 연속회분식 활성오니공법으로 전향해 가면서 고도처리도입에 관심을 갖게 한다.

고도처리기술(Advanced Treatment Technology)은 물 속에 함유된 SS, BOD, n-Hexane 추출물질, 중금속 등은 기존처리 공법으로 조합해 처리되나, N와 P는 사실적으로 미흡한데, 이러한 수계의 부영양화 원인물질을 처리하는 기술을 말한

다. SBR은 1914년 Arden과 Lockett에 의해 최초로 개발된 Fill and Draw방식으로서 생물학적 활성오니법이며, 초기는 회분식(Batch)만 있었으나 점차 개발되어 지금은 연속흐름식의 고도처리공법이다.

SBR은 하나의 반응조에서 5단계 작업인 채우기(Fill), 반응(React), 침전(settle), 배출(Draw)과 대기(Idle)로서 이루어지며, 5단계 작업이 자동화 운전모드에 따라 순차적으로 이루어져 6시간 정도로 한 사이클로 되어 연속처리하는 신기술이다.

SBR은 한 반응조 내에서 computer와 microprocessor에 의해 자동제어방식으로 처리수의 유입에서 방류까지 5단계가 정해진 programme에 의해 시간배열 따라 각 단위공정이 연속적으로 진행된다. 이 시스템 공정중 물 속의 유기물이 생물학적으로 산화되고 질소와 인이 제거되는데 주로 혐기, 무산소와 호기 상태로 시간 배분에 의해 조합 운영되고 있다.

- ① 생물학적 처리공법의 특징
- (가) MLDO와 질산화물

Monod는 하수처리시 질산화박테리아의 성장률과 질산화 속도에 용존산소 (MLDO)농도가 큰 성과를 나타내는 주요한 영향인자라고 했으며, Stenstrom은 정상상태에서 MLDO 농도가 0.5~2.5mg/L일 때 물질전달상태, 확산저항과 고형물체류시간(SRT) 등의 인자에 의해서 질산화율이 제한을 받게 된다고 발표했다. 이외에도 Wuhman은 MLDO 농도가 2mg/L일 때 질산화율은 40%이었으나 4mg/L일 때는 80%이었다고 했으며, Murphy는 질산화율이 MLDO농도가 8mg/L일 때 1mg/L보다 높았다고 발표했다. Saywer는 질산화율이 BOD, TKN(Total Kjeldahl Nitrogen)과 상관성이 있다고 했다.

(나) 수온과 질산화율

Lawrence는 질산화가 이루어지는 물의 온도 범위는 4~45℃이며 질산화 미생물은 수온에 민감하게 성장하고 있다고 했다. Buswell은 질산화박테리아인 Nitrosomonas의 최적생장 수온은 35℃이며, Depper는 Nitrobacter의 최적수온은 35~42℃라고 했고 Stensel은 탈질수온이 MLDO 0.3~1.5mg/L일 때 20~30℃라고 발표했다.

(다) 수소이온 농도지수와 질산화율

Sawer는 질산화세균이 pH7.5~9 범위에서 성장하며, Flammino는 pH6이하에서는 미생물의 인(P) 섭취가 감소하다가 pH5.2이하가 되면 상실되었다고 발표했다.

(라) 용존산소와 인처리

Ekama는 호기성 상태일 때 방류수의 인(P) 농도를 1mg/L이하로 유지하려면 MLDO농도를 1.5~3mg/L로 유지한다고 발표했다.

② SBR공정

(가) 유입(Fill)공정

기존 유량조정조의 기능을 발휘하는 공정으로 반응조 용량의 sensor에 의해 25~100%까지 수위가 올라가 집수되면 자동적으로 펌핑이 정지된 후 Air를 주입시켜서 Anoxic(무산소

상태), Anaerobic(혐기상태)과 Oxidic(호기상태) 반응이 순서대로 진행되면서 활성오니가 영양소로 BOD, N와 P를 사용하여 제거된다. 특히 BOD는 탈질시 필요한 탄소원으로 사용되는 바 50%이상이 처리된다.

(나) 반응(React)공정

기존 활성오니조의 기능을 발휘하는 공정으로 활성오니(activated sludge)의 생육에 필요한 용존산소(MLDO)는 표면포기장치인 Turbine으로 선화와류를 일으켜 산소전달해서 공급한다. 호기성 미생물은 물 속에 용해된 유기물인 BOD와 콜로이드성 입자인 SS를 활성오니가 흡착해 처리된다. BOD는 Bacteria에 의해 빠른 속도로 잘 제거되며, 질산화와 활성오니에 의한 인(P)의 과잉섭취로 BOD, N와 P이 처리된다.

터빈의 회전시는 호기상태이다가 회전력을 감소해 산소전달이 중단되면 혐기상태가 되며, 단순혼합시는 무산소상태로 유지되어 활성오니의 침강을 방지함과 동시에 생물학적 탈질을 도모하게 된다. 이 때 반응시간을 한 사이클 소요시간의 35%정도이어서 compact한 공법이고, 반응시간은 BOD 또는 COD, DO의 농도측정계에 의해서 제어되나 일반적으로 Oxidic 반응 40분, Anaerobic 30분, Oxidic 80분, Anoxic 20분과 Oxidic 10분을 소요하면서 운전한다.

(다) 침전(settle)공정

기존 침전조의 기능을 발휘하는 공정으로 앞의 반응공정이 종료된 시점에서 표면포기장치(Surface aerator)의 터빈작동을 중단한 상태에서 정지침전이 침강분리가 양호하게 된다.

침전공정의 소요시간은 모두 30~60분 범위이며, 너무 길면 혐기성 상태가 되어 침강슬러지가 부패해 질소가스로 침강슬러지가 수표면으로 상승하기도 한다. 그래서 교액분리가 충분히 일어난 시점에까지 운전되고, 너무 하부의 슬러지층고가 높으면 F/M비가 낮아지는 바 수중(Submersible)슬러지인 발펄프로 약 10분 동안 배출시켜서 Filtr Press등으로 탈수한 후 처분해야 한다.

(라) 배출 (Draw)공정

기존 방류조의 기능을 발휘하는 공정으로 앞의 침전공정에서 잘 분리된 상부층의 상장수(上澄水)를 배출시켜서 공공수역으로 방류시키거나 막분리 등으로 다시 처리해 중수(reclamation Water)로 활용할 수도 있다. 배출장비는 자동 밸브, 사이펀 및 데칸터 등으로 이용해서 배출시킬지라도 수면을 언제나 하부슬러지층으로부터 25~30cm의 물 높이를 유지해야만 퇴적 슬러지의 서어징(serging)을 방지할 수가 있는 바 유의해야만 한다. 이 때 배출 소요시간은 30~60분 동안이다.

(마) 대기(idle)공정

SBR의 모든 공정기능이 중지된 상태이어서 다음 사이클(cycle)의 첫단계 공정인 유입시작까지 완충역할 기능을 하는 공정이다. 대기공정 소요시간은 10분 정도이고, BOD 500mg/L 이하 1cycle의 소요시간은 6시간 정도이나 BOD부하가 높으면 8시간 정도이다.

③ 생물학적 질소제거

물 속에 함유된 질소는 암모니아(NH⁴⁺)와 같은 무기물 형태와 단백질, 요소(NH₂CONH₂)와 같은 유기물 형태로 존재하면서 미생물의 동화작용과 이화작용에 의해서 생물학적으로 제거된다.

생물학적 동화작용(Biological assimilation)은 암모니아가 박테리아(C₅H₇NO₂)의 성장에 필요한 필수 영양소로 소모되는 기능이다.

일반적으로 BOD와 N가 활성오니(x)의 증식속도에 대한 반응식은 아래와 같다.

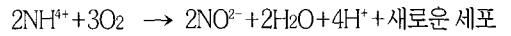
$$\frac{dNH_3 - N/dt}{dBOD/dt} = \frac{0.125dx}{dBOD/dt}$$

대개 상기식에서 알 수가 있듯이 BOD 1g이 활성오니(x:MLVSS) 0.6g으로 증식되며, 물 속의 탄소(BOD)농도의

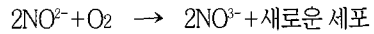
7.5%(0.075)에 해당된 암모니아성 질소(NH⁴⁺-N)가 활성오니에 의해서 제거된다. 그리고 F/M비가 0.1이면 BOD 1g당 NH⁴⁺-N 0.018g 제거되는데 이는 활성오니의 동화작용에 의해서 제거된다.

그리고 생물학적 이화작용(biological dissimilation)은 질산화(nitrification)와 관련된 주 박테리아(Bacteria)인 자가영양균 Nitrosomonas, Nitrobacter가 무기질소화합물(NH⁴⁺)을 산화해서 아질산이온(NO²⁻) 질산이온(NO³⁻)으로 생성된다. 이 때 필요한 에너지는 물 속의 BOD 또는 COD의 유기탄소원을 분해하여 얻어서 활성오니는 성장한다.

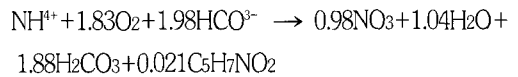
(가) 에너지 Nitrosomonas세균에 의한 질산화 1단계반응



(나) 에너지 Nitrosomonas세균에 의한 질산화 2단계반응



(다) 총괄 에너지 질산화 반응단계



상기 반응에서 1단계 반응의 우점균은 Nitrosomonas세균이고, 2단계는 Nitrobacter세균이 산화작용을 한다. 이 때 에너지 생성량은 Nitrosomonas가 암모니아(NH⁴⁺) 1mole을 산화시켜서 58~84kcal를 방출하며, Nitrobacter가 아질산이온(NO²⁻) 1mole을 산화시켜서 15~20kcal를 방출한다. 그래서 세포합성 증식계수는 NH₃-N 1g 산화하면 Nitrosomonas세균은 0.05~0.29g, Nitrobacter세균은 0.02~0.08g의 세포가 합성된다.

다음호에 계속