



자율적 환경관리를 위한 환경경영기술 (8)



서울시 수도기술연구소 기술개발부장 이규성 박사

8. SBR 이용한 하수처리

① 개요

하수처리 공정에서 사용되는 회분식(batch type) 활성오니법인 SBR은 1984년 영국에서 개발되어 현재 미국, 캐나다, 오스트레일리아 등 전국적으로 하수, 오수 등의 폐수처리에 널리 보급되어 사용되고 있는 생물학적인 공법이다. 20세기 초기에 생물학적 공법은 회분식으로 많이 보급 운영되어 왔으나 산기관의 폐색 등 유지관리에 어려움이 많아 일반적인 지금의 연속적 활성오니법으로 개발되어서 전체적으로 이용되고 있다.

생활하수와 산업폐수가 인구증가, 생활습관 변화와 산업발달로서 다양한 수질 오염물질인 극성, 비극성 유기물질이 함유되어져 있고, 공공수역에 조류(algae)의 영양 염류인 질소와 인 유입이 크게 증가해서 청록, 남조류 등의 성장을 촉진해 상수, 원수의 이취미 및 해역에 적조 현상이 두드러지게 나타나고 있다. 따

라서 기존 하수 처리는 BOD와 SS(Suspended Solid) 제어에 역점을 두고 운영하다 보니 방류 수역의 수질 개선 효과가 크게 없어 정부는 물 관리 종합대책으로 고도처리공법의 적용을 요구하였으며, 방류 수역의 질소와 인의 영양염류를 질소 20mg/L 이하와 인 2mg/L 이하로 하수처리장에서 동시 처리한 후 방출하여 적조현상을 막고 자연 생태계에서 환경 정화력을 높일 목적으로 질소와 인 처리 위한 고도처리공정의 도입이 필요한 것이다. 질소화율과 DO 농도와의 관계를 자료를 통하여 살펴보면, Monod는 하수처리시 질산화 박테리아의 성장률과 질산화율에 용존산소 농도가 큰 효과를 나타내는 주요한 영향인자라고 했으며, Stenstorm 등은 정상 상태에서 DO 농도가 0.5~2.5mg/L 일때 물질전달상태, 확산저항과 고형물 체류시간(SRT : Solid Retention Time) 등의 인자에 의해 질산화 속도가 제한을 받는다고 하였다. 그리고 Silverstein 등은 DO 2mg/L일 때 질산화율은 40%였으나 DO 4mg/L이였을 때는 80%였다고 보고하였다.



Irvine은 DO농도가 1mg/L와 8mg/L에서 질산화율을 비교하였더니 DO 8mg/L일때만 질산화율이 향상되었다고 보고하였으며, 박 등은 질산화율이 유입 하수속의 BOD와 TKN(Total Kjiedahl Nitrogen)이 상관성이 있다고 보고했다. 문은 질산화가 이루어지는 온도범위는 4~45℃ 범위이며, 온도에 민감하게 질산화 미생물이 성장한다고 했고, 이는 *nitrosomonas*의 최적 온도가 35℃, *nitrobacter*의 최저온도가 35~42℃라고 보고했다. 한편 최는 질산화균이 pH 7.5~9범위에서 중금속 농도가 10~20mg/L일 때 견딜 수 있었고 탈질산화 반응을 위한 최적 DO농도는 0.3~1.5mg/L이며, 온도는 20~30℃ 범위라고 했다. 소림등은 생물학적 인처리를 최초로 보고했고, 혐기성 상태에서의 인방출은 미생물들이 유기물을 섭취해 PHD(Poly-β-Hydroxy Butyrate)나 클루코젠 등의 물질축적시 필요한 에너지원으로 폴리인산을 가수분해할 때 일어난다고 밝혔다. Ketchum 등은 호기성 상태에서는 방류수의 인 농도를 1mg/L이하로 유지하려면 DO농도를 1.5~3mg/L 범위로 유지해야 하고, pH 6.5이하에서는 인 섭취가 감소하여 pH 5.2 이하가 되면 미생물의 인 섭취가 상실된다고 보고 했다. 연속회분식 공정에 대하여 자세히 살펴보면 다음과 같다.

최근 들어 computer와 microprocess가 크게 발전하면서 용존 산소계(DO meter), 산화·환원 전위계(ORP meter), 수위계(WL meter) 등의 process monitoring sensor가 개발되어 개발초기의 회분식 SBR을 연속식 SBR로 개조하여 다시 급속하게 BOD 외에 N과 P를 부가적으로 제어 할 수 있는 효과도 있게 되었다.

연속회분식 SBR공정은 단일 활성오니반응조 하나에 다기능 고효율의 속도가변부유형 선회와류식 표면포기인 터빈에 의해 활성오니의 성장과 하수의 부패방지를 위한 포기 및 교반 작용을 DO계, ORP계 등과 연동시켜서 운전 조작하는 간단한 자동제어로서 운영

관리되고 있다. 연속회분식 SBR을 이용한 처리공정은 기존의 집수조, 활성오니조, 침전조, 방류조가 단일 활성오니 반응조에서 이루어지며, F/M비 조절을 위한 반송시설이 따로 없이 정해진 시간배열에 따라 연속적으로 유입·반응·침전·배출·휴지공정의 5단계 작업이 운전 모드별로 PLC (Programmable Logic Control)에 의해 완전 자동으로 진행되면서 BOD, N과 P의 제거가 동시에 이루어지는 공정이다. SBR은 단지 활성오니 반응조에서 기본적으로 5단계 작업이 순차적으로 이루어지는 과정이 한 주기이며, 이러한 주기는 하루에도 여러번 반복된다. 이때 5단계 과정 중 유입 공정은 반응조 용량의 25~100%까지 채워되 하수 유입 공정의 소요시간은 한주기 소요시간의 25%인 90분 정도를 차지한다. 유입 과정은 sensor에 의해 정해진 수위를 높이까지 하수가 올라오면 자동적으로 정제된 후 공기를 주입시키고 정지 시키면서 anoxic, anaerobic, oxic 반응이 순서대로 진행되면서 활성오니인 미생물의 영양소로 사용되어 질소와 인이 제거되면서 BOD는 탈질시 필요한 탄소원으로 50% 이상을 제거한다. 반응공정은 표준 활성오니법의 활성오니조와 같은 기능을 발휘하며 활성오니 생육에 필요한 용존산소는 표면 포기장치인 터빈으로 공급하고 포기성 미생에 의해 용해된 유기물인 BOD와 클로이드성 입자인 SS를 활성오니가 흡착하여 제거한다. 특히 터빈의 최대 회전 조작으로 선회와류가 형성되어서 산소의 전달능력은 2.4kg-O₂/hr·kW으로 아주 높아 침투 유량이나 충격 부하 등에 영향력이 적어 유기물질의 반응 속도가 빨라 BOD가 잘 제거되어, 질산화 활성오니에 의한 인의 과잉 섭취로 처리된다. 그리고 포기후에 터빈의 회전을 감소시켜 산소 전달을 중단해 혐기 및 단순혼합 시켜서 무산소 상태를 유지하여 활성오니의 침강을 방지함과 동시에 생물학적인 탈질을 유도한다. 하수 반응공정의 소요시간은 35% 정도이며, 반응시간은 BOD, COD, DO의 농도



측정계에 의해서 제어된다. 일반적으로 반응은 oxic 40분, anoxic 30분, oxic 80분, anoxic 20분과 oxic 10분을 소요해서 운전하기도 한다. 침전과정(settling process)은 표준 활성오니법의 침전조와 같은 기능을 발휘하며 반응공정이 종료된 시점에서 표면 포기장치인 터빈작동을 중지한 상태에서 정지 침전이 진행되는 바 침전 효과가 아주 좋아 고액 분리가 잘 이루어진다. 침전 과정의 소요시간은 30~60분 정도로 너무 길면 혐기 상태로 되어 슬러지가 부패하여 질소가스가 발생되어 침전 슬러지가 부상하기도 한다. 따라서 고액 분리가 충분히 일어나는 시점에 운전하여야 하며, 너무 잉여오니층이 높거나 F/M비가 너무 낮으면 수중 슬러지 인발펌프로 약 10분 동안 뽑아내서 belt press, filter press 등의 탈수기를 이용해 cake화하여 최종 처분된다. 배출과정(draw process)은 표준 활성오니법의 발류조 기능을 발휘하며, 앞 공정인 침전으로 분리된 상부의 처리수는 공공수역에 방류시켜야 되는바 자동밸브나 사이펀 등으로 배출시키되, 수면에서 항상 25~30cm 하부로 유지되던 침전 슬러지가 서이징 되지 않는바 유의해서 소요시간은 30~60분 정도로 배출시킨다. 휴지과정(idle process)은 SBR 설비의 가동이 중지된 상태에서 다음 단계로 진행되기 전 한 주기의 완충 역할을 하며, 주로 여러개의 반응조에서 한 활성오니 반응조의 주입 과정은 완료하기 전에 다른 반응조로 교체할 수 있도록 하는 기능을 한다. 이 휴지과정에서 자생 호흡에 의한 미생물군의 생화학 작용으로 혐기 조건이 되어 인의 방출을 진행하기도 한다.

연속회분식 활성오니법을 이용한 SBR은 표준 활성오니법 보다 우수한 것이 모든 생물의 성장에 필요한 단백질의 대사에 필수인 RNA(Ribonucleic Acid)농도가 SBR의 미생물이 표준 활성오니법의 미생물보다 몇 배가 많아 BOD제거가 효율이 높은 것으로 알려져 있다.

②SBR 설계제원

유입맨홀은 처리구역내에서 유입되는 하수를 조목스크린을 거친후 시간 최대 하수량을 이송할 수 있는 유입펌프에 의해서 처리시설의 혐잡물 종합처리기로 유입되도록 한다.

혐잡물 종합처리기는 침사기 및 스크린은 유입 하수 중의 세립자나 비부식성의 무기물 및 잡다한 부유 혐잡물을 제거하여 기계시설(펌프 및 배관등)을 보호하고, 주 처리공정인 SBR 반응조내 scum 등을 방지하기 위해 필요한 시설이다.

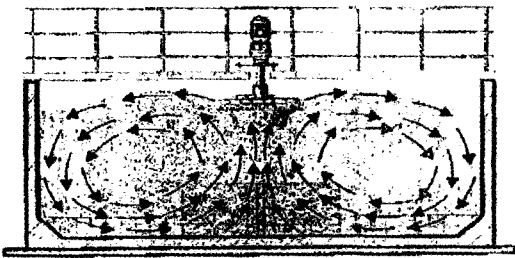
유량조절조(off-line 방식의 운영)는 혐잡물 조합 처리기에서 모래 및 혐잡물이 제거된 하수는 SBR 반응조로 이송되며 과량의 하수 또는 초기 강우 유입시 혐잡물제거기 하부에 설치된 유량 조정조로 by-pass되도록 하였다. 유량 조정조에 유입된 하수는 수질 변동에 의해 발생할 수 있는 처리효율 저하를 방지하고 교반시설에 의해 교반된다.

선회와류식 SBR 반응조는 Fig. 1에 나타냈으며, 하수 처리 공정 중 가장 중요한 공정으로 하수처리장의 규모에 따라 다수의 조로 구성되어지며 생물학적 산화, 질소 및 인 제거, 고형물 분리가 단일반응조 내에서 간헐적인 시간 주기에 의해 번갈아 이루어진다. 반응조의 조기는 유입, 반응, 침전, 처리수 배출 및 슬러지 인발, 휴지의 순서로 행해지는 5단계로 이루어지며 반응조로의 하수 유입은 반응조 이송펌프 및 수위조절계에 의해 조절되어 유입되며, 유입단계중이나 완료후 폭기, 교반을 주어진 운전 mode와 용존산소에 의해 조정되는 반응과정을 거친 다음, 침전, 배출된다. 고액분리는 침전 단계에서 일어나며 침전단계가 끝나면 침전 슬러지층 위로 맑은 상징수 층이 형성되어 각조에 설치된 디켄터에 의해 일정한 속도로 배출된다. 잉여슬러지는 수중펌프에 의해 배출되어 슬러지 저류조로 이송된다. 이러한 운전주기 및 장치의 운영은 PLC에 의해 완전 자동으로 수행되도록 한다. 반응조



내의 유입단계 동안 탈진 및 인 방출을 위한 유기탄소원은 유입 하수층의 탄소원을 이용토록 하나, 시운전 및 비상시 메탄올(인력투입) 및 가성소다(NaOH)를 공급할 수 있는 시설을 설치하며, 유입수중의 인의 농도가 상대적으로 높을 경우, 방류수 수질기준을 대비하여 화학적 처리로 보충하기 위해 비상용으로 황산알루미늄을 공급할 수 있는 시설을 설치토록 한다.

Fig. 1. Crown-turbine Sequencing Batch Reactor



여과시설은 중수는 장내 재활용을 위하여 여과시설(모래 및 활성탄)을 설치하여 운영할 수 있다.

소독조 및 방류조의 처리수는 소독설비를 거친 방류수역으로 방류하게 되는데 현재까지 대부분의 하수처리장에서는 염소 소독 방식을 채택 사용하고 있다. 본 공법에서는 경제성 및 유지관리가 용이한 자외선조사 살균방식(UV시스템)을 채택하였으나 현재, 대장균군수에 대한 방류수 수질기준이 없으므로 소독설비는 장래설비로 설치를 유보, 구조물만 설치하는 것으로 한다.

방류멘홀은 소독설비를 통과한 처리수는 방류멘홀로 유입되어 방류관거를 통하여 자연유하 또는 방류펌프로 최종 방류된다.

슬러지 처리 (슬러지 저류조, 기계식 농축기, 원심탈수기)는 잉여 슬러지는 슬러지 저류조로 유입된다. 잉여 슬러지의 퇴적을 방지하기 위해 기계식 교반시설과 슬러지 이송을 위한 공급 펌프를 설치한다. 잉여 슬러지는 기계식 농축기에 의해 농축되어 최종 원심탈

수기로 이송되어 최종 슬러지 케익으로 고액분리된다. 농축액 및 탈수액은 유량조정조로 반송되어 유입 하수와 혼합처리 된다. 또한 sludge cake은 별도 처리된다.

표면포기기(SBR용 크라운터빈)는 Fig. 1에 나타내었으며, 높은 산소 전달효율 (2.0~2.5kg-O₂/kWh)을 갖춘 강력한 선회와류식 포기기로서 용존산소 측정에 의해 PLC로 조정되며, 반응조에 산소공급 및 교반 역할을 하는 장치다. 재질은 FRP 또는 STS로 되어 있으며 표면 포기기 구동부는 inverter에 의해 속도제어가 가능한 모터를 사용하며 구동부와 함께 세 개의 정향 장치가 있는 부유시스템에 설치되어 반응조의 수위변동에 관계없이 수면위에서 안정적으로 그 역할을 수행하게 된다.

Table 1 Comparison of SBR process with similar process

항목	D/D공법	DNR공법	B3공법	SBR공법	
설계기준	F/M	0.04-0.06	0.1-0.3	0.05-0.45	0.01-0.3
	kgBOD/kgMSS				
	MLSS(mg/L)	3000-5000	2000-4000	2500-5000	2000-4000
	SRT(day)	12-18	5-12	20-30	20-30
제거율	내부순환	-	100	100-300	-
	HRT(hr)	12-18	6-8	24-27	4-12
	BOD(%)	90-95	90	95-98	85-95
유지관리	SS(%)	85-95	80-90	80-90	85-95
	T-N(%)	80내외	70-80	90-95	75이상
	T-P(%)	70내외	70-80	70-80	50-70
	시간별 제어로 PLC 필요함	-시간별 제어로 PLC 필요함	-보조기가 많아 점검수가 많음.	-바이어러스균으로 우점배양에 어려움.	-시설이 간단해 운전이 쉽다. -기기가 적어 점검이 간단함.

Table 2 Cost evaluation of sewage treatment process

(단위: 백만원)

구분	표준활성슬러지법	P/D 공법	DNR 공법	B3 공법	SBR 공법
① 처리장 공사비	13,252(100%)	14,580(110%)	15,900(120%)	15,240(115%)	12,865(97%)
토목, 건축공사	8,350(63%)	10,206(70%)	9,540(60%)	9,906(65%)	6,090(47%)
기계, 배관공사	4,902(37%)	4,374(30%)	6,360(40%)	5,334(35%)	6,775(53%)
② 유지관리비	607(100%)	668	728(120%)	698(115%)	517(85%)

[주] 1) 타 공법은 표준활성오니법 기준으로 산출하였음. 2) 처리용량은 :5,000m³/day 기준임



Table 3. Comparison SBR with sewage design standard of the Ministry of Environment

구분	유량 조정조		SBR 반응조				슬러지 저류조	
	체류 시간 (hr)	유효 수심 (m)	F/M(비) (kgBOD/kgMLSS)	MLSS (mg/L)	유효 수심 (M)	HRT (hr)	체류 시간 (hr)	유효 수심 (m)
SBR	3	3-5	0.03-0.1	1500-5000	2-6	18-32	1일	3-5
하수도 기준	시간 최대량	3-5	0.03-0.05	3000-4000	4-6	1일 최대량	-	4

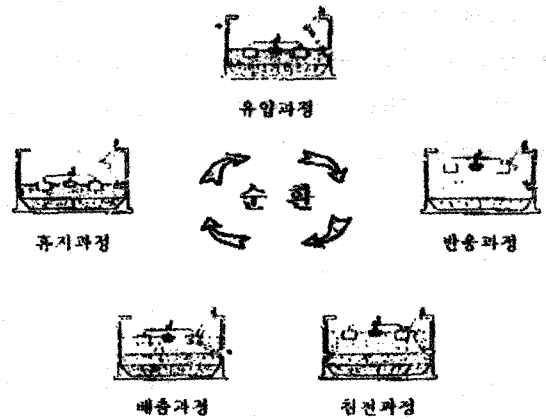
③ SBR운전

SBR의 운전 조건은 연속 주입시 운전인 교반 및 포기 과정으로 하였으며, 운전모드의 경우 정상과 비정상 운전으로 구분하는데 정상운전의 경우 한 주기에 6시간으로 하고, 비정상 운전은 한 주기에 4시간으로 설정하였다. Fig. 2에서는 선회와류식 SBR 순환가정을 나타내었다.

실험장치의 운전 인자는 1일 4주기로 하여, 하수처리량을 100m³/day로서 실험장치는 지름 6.5m, 높이 3.15m이며, 포기장치는 가변 부유식 50포기·교반 일체형의 크라운터빈을 사용하였다. 실험수는 K식 하수종말 처리장내의 분배조 원수를 유량조정조에 저류한 후 원수 이송펌프로 이송된 원수를 단일 활성반응조내의 수위계의 설정 높이에 따라 조절되었다. 이 SBR 반응조내에서는 용존산소에 따라 크라운터빈 표면포기장치가 회전수를 PLC에 의해 전자동으로 제어하여 호기, 무산소와 혐기성 조건을 형성해 가면서 반응하여 BOD₅, N, P 을 처리한다. 반응에 따라 제거된 처리수는 침전지시에 의해 고액 분리된 후 SBR 반응조내에 설치된 배출 장치인 air vent decanter에 의해 유출수는 배출되고, 잉어오니는 SBR반응조 하부에 설치된 슬러지 배출펌프에 의해서 배출되고 휴지되면서 한 주기가 종료되며, 이러한 주기는 1일 4 회 연

속적으로 rccycle이 된다. 일반적으로 유입하수의 오염부하가 낮으면 한 주기 소요시간이 4시간 걸리나 동절기 및 오염부하가 상승시는 한 주기를 6시간 등으로 연장하여 전자동 운전할 수 있게 하여 실험하였다. 또한, 각 공정별 반응조건에 따른 한 주기 실험을 수행하였으며, 각 항목별 실험(CODcr, T-N, NO₃-N, T-P, PO₄-P)을 통하여 그 제거 효율을 고찰하였다.

Fig. 2 Circulation process of Crown-turbine type for SBR.



종말처리장 현장에 설치하고 하수처리장의 활성슬러지를 식종하여 미생물 순응시간을 거쳐 2000년 1월부터 원수는 유입하수로 유출수는 SBR반응조의 유출수를 채취하여 실험하였다. 유출수는 분석항목은 모두 5개 항목으로 BOD₅, COD_{Mm}, SS, T-N 그리고 T-P 로 환경오염 공정시험법상 방류수 수질기준에 준하여 실시 하였다.

다음호에 계속...

※ 환경정책속의 환경정보는 지면상 한회 쉽니다.