

경제적인 고도폐수처리



이 상 은 / 한국건설기술연구원 연구위원

V. SBR(Sequencing Batch Reactors)

생물학적 폐수처리방법중 개발된지는 오래 되었으나 많이 사용되지 않다가 처리방법에 대한 이해가 높아지고 장비가 개량되는등에 힘 입어 최근 다시 관심을 끌고 있는 방법이 Fill-and-Draw 형식으로 운전하는 SBR을 이용한 처리방법이다.

SBR 자체가 고도처리를 위한 처리방법은 아니

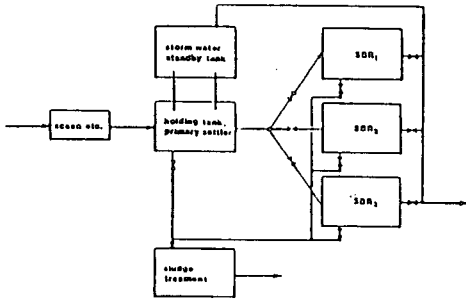
나 설계와 운전을 어떻게 하느냐에 따라 고도처리 효과를 얻을 수도 있는 경제적인 처리방법이고 또한 응용범위가 매우 넓어 처리목적에 따라 설계와 운전을 달리할 수 있다는 장점이 있다.

SBR이 소개된 것은 20세기 초반의 일이었으나 배관및 발브에 관한 문제와 시간에 따라 적절한 조치를 취해줘야 하는 운전관리의 복잡성 때문에 대규모 처리시설의 건설이 시작된 이후로는 더이상 발전되지 못한 것이다.

그러나 앞서 언급된바와 같이 여러형태의 발브 및 배관장치의 개발로 공정의 자동화가 가능해짐으로서 SBR법이 다시 주목을 받게 되었으며 최근 미국 EPA의 I/A Program에서도 새로운 방법으로 인정받게 되었다.

SBR은 그동안의 연구결과에 의해 BOD제거에 질산화가 가능하고 일의 제거도 가능한 것으로 보고되어 있는데 주로 소규모 하수처리시설에 적합한 것으로 알려져 있으나 일부 산업폐수의 처리에도 성공적으로 적용될 수 있다고 한다.

SBR System은 <그림-1>과 같은 몇개의 SBR로 구성되는 것이 보통이며 각 SBR은 <그림-2>

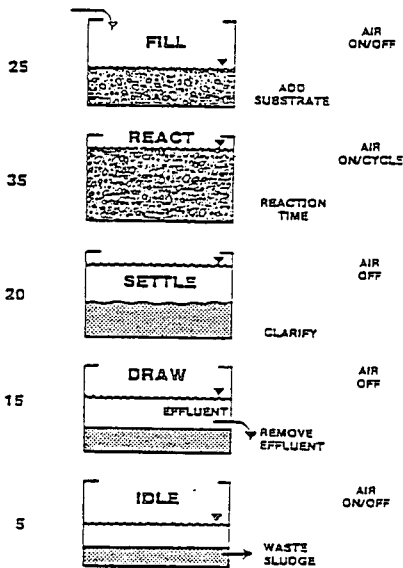


〈그림-1〉 SBR에 의한 폐수처리 계통도

와 같은 Fill-and-Draw 형태로 운전된다. 〈그림-2〉에 나타난 바와 같이 이 SBR의 운전은 보통 5 단계로 구분되는데 유입수를 채우는 단계, 반응단계, 침전, 상등수의 배출 및 쉬는 단계를 갖게 되며 탈질반응이 필요한 경우는 산소공급에 의한 혼합반응과 침전단계사이에 산소공급이 없는 상태에서의 혼합이 필요하다.

1사이클의 시간 비율

운전조작



〈그림-2〉 전형적인 SBR의 운전형태

각 단계의 목적과 기능은 분명하나 쉬는단계 (Idle)의 필요성이 분명치 않은데 이는 몇개의 SBR이 사용될 경우 SBR의 운전의 이동이 원만하

게 되도록 하기 위해서 필요하다.

SBR을 사용하는 장점은 많으나 가장 중요한 것은 높은 적응성을 들 수가 있는데 이는 활성슬러지법이 적응성이 높은 관계로 살수여상에 비해 많이 사용되고 있는 것과 같으며 SBR의 장점중의 일부를 설명하면 다음과 같다.

- SBR법에서 Fill 단계는 유량조정조의 역할을 하여 유입수의 BOD부하의 변화폭이 큰 경우나 충격부하에 잘 견디며 실제로 부하의 변동이 큰 희수를 처리하는 활성슬러지법을 SBR로 변화시켜 큰 효과를 본 예가 있다.

- 처리수의 배출이 간헐적이어서 처리수의 수질이 목표수질에 달하지 못할경우 오랫동안 가두어서 처리수의 수질의 향상을 도모할 수 있다.

- 슬러지 반응을 위한 펌프가 필요없어 배관과 동력이 절감된다.

- 유입수가 채워지는 동안 산소농도가 거의 0에 가까워져 산소의 전달효율이 높아질 수 있다.

- SBR의 운전방식이 회분식으로서 사상형미생물의 성장을 억제하여 슬러지 팽화현상을 초래하지 않는다. 슬러지 팽화현상을 억제하기 위해서 가장 적합한 운전조건은 Fill 단계에서 처음에 혼합이나 폭기가 일어나지 않게 하고 나머지 15분에서 30분 정도를 폭기시키면서 유입수를 채우는 조건이라고 알려져 있다.

- 혐기/호기상태가 교차됨에 따라 질산화/탈질반응이 진행되며 생물학적인 방출과 인의 과잉섭취가 진행되어 질소와 인의 효율적인 제거가 가능하여 고도처리의 효과를 얻을 수가 있다.

SBR Process의 성능을 평가하기 위해서 미국의 2개 처리장과 캐나다의 2개소 그리고 호주의 2개소 SBR을 사용하는 처리장을 조사하였는데 중요한 운전조건과 처리결과는 〈표-1〉과 같으며 모두 배의 높은 처리효율을 나타내는 것을 알 수 있다.

〈표-1〉에서 각 운전단계의 시간이 처리장마다 다른 것을 알 수 있는데 각 단계의 전형적인 시간 비율은 〈그림-2〉에 표시되어 있으며 질산화가 필요한 경우 폭기에 의한 혼합반응시간을 길게 해줄 필요가 있고 유입수를 채우는 시간은 운전자가 임의로 조절하기가 어려우므로 각 처리장이 큰 차이를 보이고 있다.

SBR이 갖고 있는 여러가지 장점에도 불구하고

〈표-1〉 6개 처리장의 SBR 운전결과

	A	B	C	D	E	F
처리용량 (m ³ /일)	227	5	756	1,370	2,020	-
유입수(mg/L)						
BOD	236	251	260	170	260	260
SS	200	152	260	150	-	-
NH ₃ -N	37	55	19	20	36	-
처리수(mg/L)						
BOD	11	5	8	10	<10	<10
SS	15	6	18	5	<10	<15
NH ₃ -N	10	2	-	1.0	2.2	1.0
시간, 분						
t _r	90	22시간	18시간	180	연속	연속
t _r	45	60	180	42	135	150
t _s	20~60	60	180	42	-	180
t _d	-	-	-	42	45	45
t _i	-	-	-	60	45	-

이방법의 사용에 몇가지 제한이 있는데 특히 처리용량이 큰 처리장에는 적용이 곤란하다는 점이 중요한 제한사항이 될 수 있다.

초기에는 약 400톤/일 이하의 처리장에만 사용하도록 권장하였으나 나중에 약 4,000톤/일의 규모까지 확대되다가 비용분석 결과에 따라 약 19,000톤/일 규모까지 경제성이 있는 것으로 나타나 중소규모의 처리시설에 적합한 것으로 보인다.

〈표-1〉에 나타난 처리장들이 SBR을 사용하는 가장 큰 이유는 SBR의 경제성을 판단하기 위해 〈표-2〉에 처리용량별로 SBR을 활성슬러지법과 산화구법에 비교하였다.

〈표-2〉 처리용량별 경제성비교 (단위: 천 US\$)

용량(m ³ /일)	활성슬러지	산화구	SBR
400	-	1,253	1,051
1,900	4,212	3,696	3,495
4,000	5,617	4,654	4,496
19,000	12,083	10,533	10,397

주: 부지비를 제외한 시설비와 운전관리비를 비교
20년 수명과 이사를 7.5%로 간주한 1984년도 가격

〈표-2〉로부터 처리용량 19,000톤/일 까지는 SBR이 활성슬러지법과 산화구법에 비해 경제성이 있는 것을 알 수 있으며 여기에 부지구입비 절감까지를 고려하면 경제성은 더욱 높아진다.

유지관리비의 절감을 보다 정확히 나타내기 위해 각 처리방법의 에너지양을 비교해보면 〈표-3〉과 같이 SBR이 여러종류의 자동화시설이 들어감에도 불구하고 에너지소요가 다른 처리방법에 비해 적은 것을 알 수 있어 적은 규모에서의 경제성을 입증해주고 있다.

〈표-3〉 처리용량별 에너지 소요량 비교 (단위: KWH/yr)

용량(m ³ /일)	활성슬러지	산화구	SBR
400	-	47.9×10 ³	43.1×10 ³
1,900	29.1×10 ⁴	33.4×10 ⁴	28.9×10 ⁴
4,000	65.8×10 ⁴	63.8×10 ⁴	63.5×10 ⁴
19,000	30.1×10 ⁵	34.0×10 ⁵	30.1×10 ⁵

SBR을 고농도 산업폐수의 처리에 사용한 예는 많지 않으나 꿀통조림공장과 새우가공공장에서부터 발생하는 폐수의 처리에 적용한 결과가 〈표-4〉에 나타나 있다.

〈표-4〉 SBR을 산업폐수처리에 적용한 결과

항 목	단 위	꿀통조림공장폐수	새우가공공장폐수
운전시간	시간		
t _r		2	3
t _r		5	10
t _s		1	0.5
t _d		1	1.5
t _i		2	-
유입수 농도	mg/L		
BOD		-	-
COD		12,700	7,600
SS		-	-
처리수 농도	mg/L		
BOD		38	26
COD		176	140
SS		32	24

이 표로부터 SBR이 설계와 운영을 적절히 함으로서 고농도 산업폐수의 처리에도 효과적으로 사용될 수 있는 것을 알 수 있는데 아직 본격적으로 적용되기 위해서는 pilot plant 실험등의 실험을 거친 후에 설계인자와 운전조건을 정하는 것이 필요하며 다른 생물학적 처리방법과 같이 영양물질의 균형을 유지 하는데에도 주의해야 한다.

그러나 앞으로 강화된 산업폐수의 처리기준을 경제적으로 만족시키고 특히 질소와 인의 제거가

필요한 경우에 SBR과 같은 방법의 사용을 고려해 볼만 하다고 본다.

SBR의 설계에 있어서 산업폐수에 적용하는 경우는 앞서 설명된 바와 같이 일반화 시키기가 어렵고 각 폐수의 특성에 따라 처리도 실험등을 통하여 설계가 되어야 하므로 여기에서 다루수가 없고 도시하수의 처리경우만을 고려해보기도 한다.

도시하수처리를 위한 SBR의 설계는 반응조의 크기결정, 유입구의 형태와 유출구의 형태, 그리고 폭기장치와 자동제어장치들을 선택하기 위한 것으로서 유입구 및 유출구의 형태와 제어장치들은 발주자의 선호도를 고려하여 설계엔지니어가 적절히 선정하면 된다.

반응조의 크기를 정하기 위해서는 우선 2개조 시스템인 경우 한 조의 반응, 침전, 유출 및 쉬는시간 (t_r , t_s , t_d 와 t_i)의 합은 다른 한 조의 채우는 시간(t_f)와 같게 하는 것이 좋다. 단일 t_r 는 채워져야 하는 부피(V_f)를 유량(q)으로 나눈 시간으로서 이들을 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$t_r = t_r + t_s + t_d + t_i \quad (1)$$

$$t_r = V_f / q \quad (2)$$

$$V_f = V_{max} - V_o$$

단 V_{max} =한 탱크에 채울수 있는 최대 부피(m^3)

V_o =Fill이 시작되는 시점에 탱크에 남아 있는 부피(m^3)

같은 방법으로 여러조의 SBR이 사용되는 경우에 반응조의 크기를 정할수 있는데 어느 한 반응조든 그 반응조의 t_r , t_d , t_s 와 t_i 의 합이 나머지 반응조에 폐수를 채우는데 필요한 총 시간과 같아야 한다.

따라서 t_r , t_d , t_s , t_i 를 적절한 값으로 정하는 것이 필요한데 일반적으로 t_s 와 t_d 는 합하여 3시간을 초과하지 않으며 t_r 은 산업폐수의 경우는 실험에 의해 정해지나 도시하수의 경우는 0.5에서 2시간 정도가 보통이다.

SBR에 있어서 유기물부하를 결정하는 것은 복잡한데 식-4와 같은 방법으로 부하율을 산정할 수 있으며 대개 부하율을 0.2~0.4kg BOD/kg MLVSS-day로 정한다.

$$L = \frac{q S_o}{f V_i X_{max}} \quad (4)$$

단,

L =부하율(kg BOD/kg MLVSS-day)

q =유입수유량(m^3 /day)

S_o =유입수의 평균 BOD(mg/L)

f =한사이클에 소요되는시간에서 전 탱크의 폭기시간이 차지하는 비율

V_i =각 탱크의 유효부피의 합(m^3)

X_{max} =반응단계에서의 미생물 농도(mg/L)

SBR의 폭기장치는 산소의 전달과 혼합을 위해 사용되는데 jet aerator나 산기장치들이 사용될 수 있으며 혼합효율을 높이기 위해서 순환펌프를 사용하기도 한다.

또한 자동제어장치를 제외한 모든 장치들은 일반 활성슬러지법에 사용되는 장치와 같으며 자동제어장치는 운전관리자가 보다 많은 시간을 일상적인 유지관리에 보낼 수 있도록 한다.

이상 개발된지는 꽤 오래 되었으나 각종 장치의 개발로 최근 들어서 새로운 처리방법중의 하나로 사용이 늘어가고 있는 SBR Process를 소개 하였다.

SBR은 기존의 처리방법에 비해 경제성이 뛰어나고 설계와 운전의 변화에 따라 고도처리효율까지도 기대할 수 있는 방법이다. 다만 그동안 연속흐름식 처리방법에 익숙해 있기 때문에 SBR이 생소하게 받아들여 질 수 있어 설계와 운전조건의 결정에 세심한 주의를 요한다.

질소와 인의 제거에 관해서는 다른 생물학적 처리방법과 같이 혐기/호기상태가 교차됨으로 처리가 가능하다는 점만을 제시하고 이들을 제거하기 위한 설계 및 운전인자들은 지면관계로 소개되지 못했다.

그동안 소규모 하수처리에 적합한 방법으로 알려진 SBR이 고농도 산업폐수의 처리에도 효과적인 것을 알 수 있으나 산업폐수에 적용하기 위해서는 반드시 pilot plant 실험을 거쳐 적합한 설계 및 운전인자를 결정해야 한다.