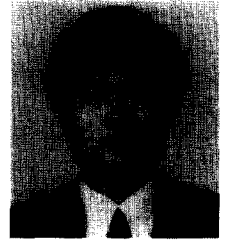


폐수처리용 생물반응기



(주)유공 대덕연구소 박 용 석

1. 서 론

생물학적 폐수처리란 유기물을 함유한 폐수를 처리하기 위하여 물의 자정작용을 부분적으로 이용하여 인공적으로 효율을 높인 방법을 말한다. 이런 생물학적 처리가 물리화학적인 처리법보다 경제적인 경우는 대개 용존 유기물의 농도가 수천 ppm미만으로 (대개 수백 ppm) 묽은 경우이다. 생물학적 처리는 물리화학적 처리법에 비해 초기투자비가 큰 반면 운전비가 적고 2차오염물질의 발생도 적은 편이다. 1992년 현재 국내의 폐수처리장의 수는 약 25,000개이고 이중 생물학적 폐수처리장이 설치된 곳은 약 2,400여곳으로 대개 일일 배출량이 50톤 이상인 곳이다. 총 배출량은 약 800만톤/일이며 톤당 처리비를 평균 400원 정도로 가정한다면 연간 1조1천억원이 폐수처리를 위해 쓰여지고 있음을 추정할 수 있다. 폐수처리설비는 최

근 매년 15% 이상의 증가를 보여왔으며 배출수 기준이 강화됨에 따라 실질적인 운전비는 더욱 커지고 있는 추세이다. 따라서 이러한 폐수처리설비의 핵심인 생물학적 처리공정의 효율을 증대하는 것이 중요하며 이에 생물공학의 적극적인 활용이 요청되고 있는 것이다. 여기서는 폐수처리에 쓰이는 생물반응기의 현황을 고찰하고 향후 해결해야 할 방향을 살펴보고자 한다.

2. 폐수처리용 생물반응기의 발달과정

수질이 하수에 의해 오염이 된다는 것은 1700년 경에 이미 언급이 되어 있다. 1865년 Alexander Muller는 미생물을 이용한 하수처리법을 최초로 특허화 했다. 즉 하수를 정화하기 위해서는 박테리아가 좋아하는 조건만 갖추어 주면 된다는 것을 실험으로 보였다. 미생물이 좋아하는 조건이란 부착할 수 있는 적당한 물질 (모래)과 간헐적인 공기의 공급이었다. 다음 단계는 하수를 자갈 등의 부착물에 분사하는 trickling filter 형태로 바뀌어 부지를 훨씬 줄였으며(1), 지금은 플라스틱 충전체를 사용하고 이를 회전 원반에 넣은 rotating biological disks로 발전했다(2).

생물막법이 아닌 액상처리법은 산화지의 형태가 있었으며 땅값이 싼 지역에서는 아직 쓰이고 있다. 1914년 E. Anderson은 하수를 처리하고 난 sludge를 다시 새로운 하수에 섞어 주기만 하면 처리기간이 수일에서 수시간으로 줄어듦을 실험으로 보

Table 1. 국내 폐수배출시설 현황

구 분	배출량 (톤/일)	숫 자
1 종	>3,000	179
2 종	>1,000	311
3 종	>500	400
4 종	>50	2,202
5 종	<50	21,888
합 계		24,980

자료 : 환경처 기획관리실 ('92)

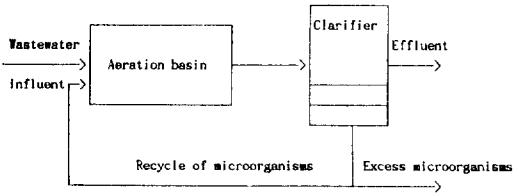


Fig. 1. 활성슬러지법.

이고 activated sludge (활성슬러지)란 용어를 처음으로 사용했다. 하지만 이것이 실용화 된것은 연속적으로 하수를 처리하면서 sludge를 유지하는 방법 (그림 1)이 고안된 1917년이다.

1930년부터 이 처리법의 생물학적 원리에 대한 연구가 본격적으로 시작되어 필요한 산소량, 온도, 영양분 등의 조건들이 확립되었으며, 이후로 혐기성 슬러지법 등의 다양한 처리법들이 개발되었다(3).

3. 생물학적 처리법의 종류

생물학적 처리법의 종류는 주로 활성슬러지법, 생물막법 및 혐기성 처리법의 3가지로 나눈다. 이들의 특징은 표 2와 같다.

폐수의 유형에 따라 적합한 처리법을 선택하는 방법은 먼저 문헌을 통하는 것이며, 반드시 같은 유형의 폐수를 성공적으로 처리하고 있는 것을 실제 확인하고 결정하는 것이 안전하다. 국내에 보급된 처리법은 대부분이 활성슬러지법이며, 이외의 처리법은 예를 찾기가 힘들므로 다른 처리법의 보급이 힘든 것이다.

활성슬러지법의 변형으로는 다음과 같은 것들이

있다.

1) 단계식 폭기법

폐수를 여러 지점으로 분할하여 유입시키되, 반송 슬러지가 유입되는 폭기조의 전단일수록 유입을 많이 하고 폭기도 많이하여 효율을 높인 것이다(4).

2) 장기 폭기법

슬러지의 반송비율을 높여 슬러지 체류시간을 길게 한 것으로, 슬러지의 발생이 적고 부하변동에 강하고 운전이 용이하나 동력비가 많이 소요된다(5).

3) 고농도 활성슬러지법

활성슬러지의 농도를 표준법보다 5배이상으로 유지하여 고부하 및 난분해성 처리에 적합하게 한 것이다. 통상의 침전분리로는 슬러지 농도를 높게 유지할 수가 없으므로 여과법, 원심분리법, 응집제 첨가법 등을 이용해서 슬러지를 분리하며, 동시에 산소가 많이 필요하므로 고효율 폭기장치를 써야 한다(6).

4) 순산소 폭기법

폭기용 가스로 공기대신 순산소를 이용해 폭기 조내의 용존산소농도를 통상의 몇배로 유지할 수 있게 하는 것으로 이에 비례해 미생물의 농도와 처리효율을 통상의 몇배로 높일 수 있게 하는 방법이다(7).

5) 초심층 폭기법

폭기조를 땅속 깊이 수직으로 설치한 것으로 수압상승에 의해 산소 용해도가 높아지며 이에따라 용존산소가 풍부하게 되므로 처리효율이 높아지는 것이다. 수직공간을 이용하므로 통상의 방법에 비해 필요한 부지면적이 적다는 장점이 있으나 공사의 어려움이 뒤따른다(8)

Table 2. 생물학적 처리법의 비교

항 목	활성슬러지법	생물막법	혐기성처리법
유입수 BOD (ppm)	100~1,000	10~500	1,000~10,000
처리수 BOD (ppm)	<100	<100	100~1,000
부하변동 대응성	불량	양호	불량
슬러지 발생량	많음	중간	적음
관리에 의한 기능향상	용이	곤란	곤란
전력 소비량	많음	중간	적음
저온 대응성	양호	양호	불량

6) 반복회분식법(SBR, Sequencing Batch Reactor)

초기에 쓰이던 회분식(batch) 처리법을 이용한 것으로, 폐수를 유입, 반응, 침전, 방류시키고 나서 대기하는 단계를 반복하는 것이다. 반응조 하나로 침전조의 역할도 하므로 소규모의 폐수처리나 간헐적으로 배출되는 경우에 유용하다. 운전이 다소 복잡해 도외시 되었다가 최근 자동화 기술의 발달과 함께 다시 연구되고 있다(9).

혐기성 처리법의 유형으로는 다음과 같은 것들이 있다.

1) Anaerobic Contact Process

기본 구조는 그림 1의 활성슬러지법처럼 반응조와 침전조로 구성되어 있고, 반응조에서는 혐기상태를 유지하는 것이다. 침전조에서 가스 발생으로 인해 침전이 용이하지 않은 단점이 있다.

2) Dorr-Oliver Clarigester

하나의 탱크내에서 하부는 반응조, 상부는 침전조로 각각 이용된다. 반응조에는 기계적인 교반장치 없고 하부로 들어오는 폐수와 미생물의 자체적인 접촉만으로 유기물의 분해가 진행된다(10).

3) 혐기성 필터 (Anaerobic Filter, AF)

탱크내에 공극률이 큰 여재를 충전하여 미생물이 부착하게 하거나 큰 입자를 포획할 수 있는 공간을 제공한 것이다(11).

4) 혐기성 유동상 반응조 (Anaerobic Fluidized Bed, AFB)

여재 대신 작은 입자를 넣어 미생물이 부착할 수 있게 한 것이다. 입자를 부상시키기 위해 처리수를 재순환 시켜야 하기 때문에 공정이 복잡하고 운전비가 높으나 폐수와 미생물간의 접촉 정도가 다른 것보다 우수하며 막힘 등의 문제가 없다(12).

5) UBF (Upflow Anaerobic Blanket Filter) 반응조

탱크 하부에는 입상화 된 슬러지층이 있고 상부에는 유실을 막기위한 여재층이 있는 구조이다. 이는 AF의 여재막힘 문제와 AFB의 처리수 재순환의 단점을 해결한 것이다. 단점으로는 입상슬러지가 형성되기까지의 초기운전이 까다롭고 시간이 많이 걸린다는 것이다(13).

4. 활성슬러지법의 운전인자

1) 활성슬러지 농도

생물학적 처리에서는 유기물을 미생물이 섭취하는 것이므로 미생물의 농도는 가장 중요한 운전조건이다. 그러나 활성슬러지 중에는 불요성 물질이 많이 함유되어 있어 미생물만을 따로 측정하기가 어렵다. MLSS (Mixed Liquor Suspended Solids)는 총부유물질의 농도를 나타내는 지표이고 실제 미생물의 농도는 보통 이의 50% 정도이다.

활성슬러지법에서는 미생물(Microorganism)과 유기물(Food)의 비(F/M Ratio)가 중요하다. 미생물의 농도로는 MLSS, 유기물의 농도로써는 BOD (Biochemical Oxygen Demand)가 사용된다. F/M 비는 MLSS 1kg 당 하루에 유입되는 유기물의 양으로 정의되며 단위는(kgBOD/kgMLSS.d)이다. F/M 비가 커지면 분해되지 않는 유기물이 증가하고 BOD 제거율은 낮아지게 된다. 일반적으로 F/M 비가 0.4 이하인 경우에는 90% 이상의 BOD 제거율을 얻을 수 있다.

2) 반송 슬러지 양

폭기조 내의 MLSS를 일정수준으로 유지하기 위해서는 침전조에서 농축된 슬러지의 반송량을 조절해야 한다. 반송비는 유입수량에 대한 반송슬러지량의 비를 %로 나타낸 것이다. 반송비는 처리방식에 따라 다르지만 일반적으로 20~100%의 범위이다. 실제 폭기조의 MLSS를 높이기 위해서는 반송비를 높이기 보다는 반송슬러지의 농도를 조절한다. 반송슬러지의 농도는 잉여슬러지의 배출량으로 조절된다. 즉 잉여슬러지의 양을 적게하면 반송슬러지의 농도는 높아져 폭기조의 MLSS 농도가 증가한다. 반송비를 변화시켜 MLSS농도를 제어하기는 아주 어렵다.

3) 슬러지의 침강성

폭기조에서 처리된 물을 침전조에서 슬러지만을 분리하는 것은 방류수의 수질을 결정하는 중요한 일이다. 슬러지의 침강성을 나타내는 지표로 SV30과 SVI (Sludge Volume Index)가 있다. SV30은 활성슬러지 혼합액 1L를 메스실린더에서 30분간 정치시켜 침전된 부피를 나타낸 것이다. SVI는 슬러지 1g이 차지하는 침전된 부피를 나타낸 것이다.

SVI는 폭기조 미생물의 상태를 나타내는 중요한 지표이다. SVI를 인위적으로 조절하는 일은 힘들지만 일반적으로 50~150의 범위가 바람직 하다. SVI가 200 이상이면 Bulking이라 하여 슬러지의 침강성이 나빠진 이상현상으로 볼 수 있다. SVI가 일정한 상태에서는 SV30으로 MLSS 농도를 추정할 수 있다(14).

4) 용존산소

활성슬러지는 여러가지의 호기성미생물이 활동하므로 폭기조 내에서는 용존산소 농도를 1~2 ppm 정도를 유지해야 한다. 용존산소농도가 너무 높으면 자기산화가 일어나 슬러지의 압밀성이 나빠진다. 폭기가 부족하면 슬러지의 침강성이 나빠지고 사상균이나 혐기성 상태의 미생물이 발생하여 악취가 나는 경우도 있다(15).

5) 슬러지 발생량

슬러지의 발생은 이를 처분해야하는 비용을 발생시키므로 가능하면 최소화 해야한다. 미생물에 의해 발생한 슬러지의 양은 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$\Delta X \text{ (kg/d)} = aLr - b X$$

여기서 X : MLSS의 량 (kg)

Lr : BOD 제거량 (kg/d)

a : 제거된 BOD가 미생물로 합성되는 비율

b : 슬러지의 자기산화 (내생호흡) 속도상수

a 및 b의 값은 폐수의 종류와 슬러지의 종류 및 처리방법에 따라 다르지만 통상적으로 a는 0.4~0.6, b는 0.05~0.1/d이다(16).

6) 온도, pH 및 영양분

활성슬러지의 활성은 온도에 민감하여 10℃ 변하면 활성이 2배로 변한다. 최적온도는 20~30℃

이고 15~35C 사이에 있으면 유지가능하다. 대부분의 미생물은 pH 6~8의 중성상태에서 가장 잘 증식한다. 신진대사를 하는 데 일반적인 영양상태는 BOD : N : P = 100 : 5~10 : 1 정도가 적당하다. N, P가 부족할 때 질소로써는 요소를, 인으로써는 인산을 보충해 준다(17).

7) 슬러지 체류시간

활성슬러지법의 운전지표로 F/M비 다음으로 많이 사용하는 기준은 슬러지 체류시간 (Sludge Retention Time, SRT)이다. SRT는 폭기조 및 침전지내에서 슬러지가 존재하는 체류시간을 의미하며 잉여슬러지의 양으로 조절한다(18).

$$SRT \text{ (d)} = X_t / \Delta X$$

여기서 X_t : 처리시스템내의 전체 슬러지량 (kg)

ΔX : 매일 제거되는 슬러지량 (kg/d)

여러가지 활성슬러지법의 운전기준은 표 3과 같다.

5. 폐수처리용 생물반응기의 특징

미생물을 이용한다는 점은 같지만 유용물질 생산용인 생물반응기와 비교할 때 폐수처리용 생물반응기는 다음과 같은 특징이 있다. 이러한 점을 고려해야만 폐수처리에 적합한 반응기의 개발이 현실화될 수 있을 것이다.

1) 혼합배양이다

통상의 생물반응기는 멸균상태에서 단일균을 접종하여 순수배양을 하는데 비해 폐수처리용은 다양한 종류의 미생물이 공존하는 혼합배양이다. 폐수중의 여러성분을 모두 분해하는 단일 미생물은 존재하기 힘들므로 혼합배양계가 되어야만 폐수를

Table 3. 활성슬러지법의 운전기준

처리방법	체류시간 (h)	MLSS (mg/L)	반송율 (%)	F/M 비 (kgBOD/kgMLSS.d)	SRT (d)	BOD제거율 (%)
표준법	4~8	1500~3000	25~50	0.2~0.4	5~15	85~95
단계폭기법	3~5	2000~3500	25~75	0.2~0.4	5~15	85~95
장기폭기법	18~36	3000~6000	75~150	0.05~0.15	>50	75~95
순산소법	1~3	3000~5000	25~50	0.25~1.0	8~20	85~95

처리할 수가 있다. 이는 일반적인 생물배양기에선 가장 까다로운 요구조건인 멸균이나 오염문제에 대해 장치제작이나 운전상에서 고려할 필요가 없다는 큰 장점을 의미한다. 대신 특정성분을 잘 분해하는 균을 접종해도 얼마 지나지 않아 회석되거나 기능을 상실하는 단점을 의미하기도 한다. 특히 유입수의 성분이 바뀌면 미생물군의 먹이사슬이 바뀌어 슬러지의 침강성이 나빠지는 bulking같은 이상현상이 발생하기 쉽다. 이것이 다시 정상적인 미생물군으로 바뀌는 데는 시간이 많이 소요된다. 따라서 혼합배양계에서의 미생물 상호간의 작용관계에 대한 고찰이 필요하다.

2) 연속공정이다.

생물공학에서는 이상적인 반응기로 생각하는 연속공정의 이용이 별로 없는데 오히려 폐수처리용으로는 대부분 연속공정이 쓰이고 있다. 그 이유는 처리해야 할 물량이 대량이어서 회분식 운전에는 필요한 펌프 등의 부대 설비가 너무 대형이 되어 비경제적이기 때문이다. 연속운전은 정상운전일 때는 조작이 거의 필요가 없어 운전이 간단하다. 그러나 폐수는 특성상 조성이나 유량이 항상 변하기 때문에 이러한 조건하에서도 안정적인 운전이 가능한 형태의 반응기여야 한다.

3) 생산물이 없어야 한다.

통상의 생물반응기는 영양분을 최소로 소모하고 이산화탄소가 아닌 유용한 생산물을 최대로 만들게 하기 위함이다. 이에 반해 폐수처리의 목적은 유입수 중의 모든 유기물을 가능하면 생산물 없이 이산화탄소와 물로만 바꾸는 데 있다. 이처럼 정반대의 목적을 가지고 미생물의 활성은 최대로 유지해야 한다. 특히 폐수처리에서는 미생물이 활동하는 범위 농도가 그대로 배출수로 나가고, 이 농도는 최소화 해야 하기 때문에 미생물은 항상 영양분이 결핍된 상태로 존재하게 된다. 즉 미생물의 활성을 높이자면 배출수가 나빠지고, 배출수를 좋게 유지하자면 활성이 낮아 효율이 저하되는 모순된 조건에서 최적의 운전조건을 찾아야 한다.

6. 생물공학의 응용

폐수처리공정은 생산을 위한 것이 아니라 단순히

비용을 발생시키는 것이라고 인식되어 온 탓에 운전 전에 있어 경제성의 평가나 관리의 수준이 생산공정보다는 부족했다고 본다. 그 결과 국내 대부분의 생물학적 처리공정은 1930년대식의 활성슬러지법 수준에 머물러 있는 실정이다. 반면 생물공학은 최근의 유전공학의 발달과 더불어 상당히 진보되었다. 이러한 기술을 폐수처리에 응용한다면 단시간내에 효율높은 공정을 개발할 수 있다고 믿으며 향후 개발되어야 할 방향을 다음과 같이 제시한다.

1) 고효율화

효율이란 단위부피당, 단위시간당 제거하는 유기물의 양을 뜻하며, 고효율화란 이를 향상시키자는 것이다. 과거와는 달리 부지의 단가가 높으며 특히 기존 공장의 증설에 따른 폐수처리장의 추가설치는 부지 확보 자체가 매우 힘든 상황이다. 이러한 요구는 갈수록 커지는 것이므로 적은 면적으로 많은 처리를 할 수 있는 고효율화는 반드시 필요하다. 이를 위해서는 미생물의 농도 및 활성도를 높이는 것이 필연적이다. 처리수가 배출수 기준을 만족해야 한다는 농도개념을 버리고 유기물 총량을 최소화 한다는 개념의 전처리용으로 활용 한다면 개발의 여지는 매우 넓다. 대부분의 공장은 폐수의 원천이 여러가지이고 그중에 한두개의 유입수가 발생량은 적되 농도가 높아 전체 폐수의 부하를 높이는 식이다. 고효율 반응기로 이런 고농도 폐수만을 전처리 해준다면 적은 부지 및 투자로 전체 폐수처리 용량을 증대시키는 효과를 볼 수 있을 것이다.

2) 현장용 측정기 개발

폐수처리공정에 사용되는 측정기로는 용존산소 측정기, 온도 측정기, pH 측정기, 유기물 농도인 생물화학적 산소요구량 (Biochemical Oxygen Demand, BOD) 및 화학적 산소 요구량 (Chemical Oxygen Demand, COD) 측정기, 미생물 농도 (Mixed Liquor Suspended Solids, MLSS) 측정기 등이다. 폐수처리공정은 연속공정이기 때문에 유입수의 변화만 없다면 운전조건을 바꿀 필요없이 정상처리가 가능하다. 현재는 대부분의 관리가 배출수 기준으로 이루어지고 있으며, 폭기조나 배출수가 비정상일 때 원인추적 목적으로 유입수 분석이 이루어지고 있다. 특히 유기물의 농도를 나타내는 BOD는 측정에 5일이나 걸려 이를 기준으로 한 조

치는 할 수가 없고 사후기록으로만 남기는 실정이다. 당 연구소에선 BOD를 10분 내외에 측정할 수 있는 신속 BOD 측정기를 최근 개발(19)하여 상품화한 바 있으며, 이를 이용하면 유입수의 관리가 손쉬워진다. 다른 측정기는 대부분 현장 설치용이 개발되어 보급되어 있으나 주로 방류수 중심이고 또한 정상 동작을 하지 않는 경우도 많다. 정상 동작을 하지 않는 주원인은 폐수처리장의 열악한 환경 탓이다. 현장에서 사용할 측정기는 정밀도는 다소 떨어지더라도 열악한 환경에서도 고장이 없고 유지관리가 용이한 것으로 개발되어야 할 것이다. 특히 유입수 관리를 위한 다양한 측정기와 미생물의 상태를 측정하는 계기가 개발된다면 안정적 운전에 큰 기여를 할 것이다.

3) 무인 자동화

폐수처리장의 이상현상에 대한 원인분석 및 처리방안에 대해서는 많은 문헌이 있다(20,21). 하지만 대부분의 경우는 현장운전을 오래한 사람의 경험적인 판단에 의존해 처리하고 있다. 폐수처리의 고도화를 위해서는 이런식의 사람에 의존한 운전은 지양하고, 측정자료를 받아들여 문제를 진단하고 대처방안을 제시하는 자동화된 시스템이 필요하다. 이를 위해선 각종 이상현상에 대한 자료를 체계화하고 각 폐수처리장의 실정에 맞게 조정된 프로그램을 개발해야 한다.

4) 특정물질 분해

대부분의 물질은 미생물에 의해 분해가 가능하지만 특정물질은 분해 효율이 떨어져 처리가 어려운 경우도 많다. 이런 물질중에는 질소 및 인, 염수화합물, 방향족 화합물, 유기금속 화합물, 석유유래의 탄화수소 등이 있다. 이들의 처리를 위해서는 특성 미생물의 개발 및 배양조건 확립과 유전자 조작을 통한 미생물 변환기술 등이 활용될 수 있다.

7. 결 언

환경오염이라 할 때 그 오염의 기준은 다름 아닌 생물에 미치는 영향을 말한다. 따라서 자연환경에 가장 적절한 인위적인 처리방법은 생물학적인 처리방법이며, 그 처리효율을 높임으로써 궁극적으로 모든 오염물질의 생물학적 처리가 가능하다고 할

수 있는 것이다. 환경자체가 복합적인 분야이긴 하지만 지금까지는 이런 생물학적 처리설비도 건축이나 장비 등의 구조적인 면에서 주로 다루어져 왔다. 앞으로 생물학적인 처리방법의 핵심인 미생물 자체 및 생물반응기에 대한 개발이 확대되어 환경 문제가 효과적으로 해결되기를 기대한다.

참고문헌

1. Benzie, W.J., et al., J. of the Water Pollution Control Federation, **35**, 445 (1963).
2. Lehman, P.J., J. of the Water Pollution Control Federation, **55**, 1233 (1983).
3. Berthouex, P.M. and D.F. Rudd, "Strategy of Pollution Control", John Wiley & Sons, Inc., New York, (1977).
4. Burchett, M.E. and G. Tchobanoglous, J. of the Water Pollution Control Federation, **46**, 973 (1974).
5. Goronszy, C., J. of the Water Pollution Control Federation, **51**, 274 (1979).
6. 橋本 奨, et al., 下水道協會誌, **18**, 24 (1981).
7. Anon, Environmental Science & Technology, **9**, 910 (1975).
8. Hemming, M.L. and A.D. Wheatley, Water Pollution Control, **76**, 441 (1977).
9. Brenner, A. et al., Water Environment Research, **64**, 128 (1992).
10. Cillie, G.G. et al., Environmental Science and Technology, **9**, 910 (1975).
11. Young, J.C. and P.L. McCarty, J. of the Water Pollution Control Federation, **41**, 160 (1969).
12. Jewell, W.J., Proceedings of the 1st International Conference on Fixed Film Biological Processings, **17**, 1982.
13. Lettinga, G., et al., Biotechnol. Bioeng., **22**, 699 (1980).
14. Dick, R.I. and P.A. Vesilind, J. of the Water Pollution Control Federation, **41**, 7 (1969).
15. Benefield, L.D. et al., Water, Air and Soil Pollution, **5**, 113 (1975).
16. Sherrard, J.H. and E.D. Schroeder, J. of the Water Pollution Control Federation, **45**, 1889 (1973).

17. Albetson, O.E. et al., "Nutrient Control", The Water Pollution Control Federation, 1983.
18. Lawrence, A.W. and P.L. McCarthy, J. of the Sanitary Engineering Division, ASCE, **96**, SA 3, 757 (1970).
19. Park, Y.S. et al., U.S. Patent, 81/212, 633 (1994).
20. Boyajian, E. et al., "Activated Sludge", The Water Pollution Control Federation, 1987.
21. Richard, M., "Activated Sludge Microbiology", The Water Pollution Control Federation, 1991.