

생물학적 폐수처리시설 효율적 운영관리 방안

이성호 · 조준형¹

청림환경씨앤씨 · ¹강원대학교 산림과학대학 제지공학과

1. 서론

국가적인 산업육성 정책에 따른 산업화의 발전이 가속화됨에 따라 생태계 파괴라는 심각한 문제가 대두되었고 이에 쾌적한 생활 환경조성과 환경 및 자연환경보전에 대한 관심이 더욱 고조됨에 따라 최근 많은 산업체에서 폐수처리시설을 보완, 운영하는데 있어 대부분의 산업체들이 생물학적 폐수처리 시설을 갖추어 환경오염 방지를 위해 적극적으로 노력하고 있는 상황이다. 그러나 대부분의 업체가 미생물처리에 대한 전문요원 부족 및 미생물 생육이 까다로운 점 등으로 어려움을 겪고 있는 실정이라 판단되며, 또한 훌륭한 생물학적 폐수처리 시설을 갖추어도 유지 관리상 문제가 있을 때는 처리수가 악화되는데 반해 시설상의 결함이 약간 있다 하더라도 운전조건 등을 적절히 변화시키면 양호한 처리수를 얻을 수 있듯이 효율적 폐수처리를 위하여 유지관리가 매우 중요하다. 현장 실무자가 보다 쉽게 보다 효율적으로 운전할 수 있는 관리상의 방안을 마련 시행하여 보았다.

2. 생물학적처리 시설운전 조건인자

생물학적 폐수처리 시설의 정화능력에 영향을 미치는 인자로서는 원폐수강도, 영양염 균형 용존산소, 온도, 체류시간, pH, 독성물질, 혼합, 수리학적 영향 등이 있다. 하, 폐수를 호기적 조건하에서 효과적으로 산화처리하기 위해서는 호기공정 중에 포함되는 미생물의 증식에 적합한 환경조건을 조정하지 않으면 인된다.

2.1 원폐수의 강도

폐수 내에 존재하는 유기물질을 세균의 먹이원으로 작용하기 때문에 BOD부하와 같은 폐수 특성의 어떤 중요한 변화는 처리계 내의 미생물에 대한 먹이가 증가하게 되므로 이러한 과잉의 먹이는 신생세포의 증식을 시키는 연료로서 빠른 성장률을 야기해 분산된 성장군립으로 생물러지의 생산과 2차 침전지에서의 열악한 침전성을 초래하게 된다.

2.2 영양원

활성슬러지의 증식에 필요한 질소, 인 또는 무기원소의 부족이 원인으로 활성슬러지가 그 정화 능력을 충분히 발휘할 수 없을 경우에는 이들을 보충할 필요가 있다. 세균은 원형질을 생산하기 위해 질소를 필요로 하고 폐수 내 유기물질의 분해에 필요한 화학물질(효소)을 생산하기 위해 인을 필요로 한다.

2.3 용존산소

활성슬러지 처리의 최저한계 용존산소 농도는 $0.5\text{mg}/\ell$ 로, 통상 $2\text{-}3\text{mg}/\ell$ 이상이면 좋다고 알려져 있다. 활성슬러지 처리기능이 용존산소 농도에 의해 영향을 받아 BOD제거율이 저하한다. 폭기조로의 산소공급은 산기관(Diffuser), 공기 Nozzle 사용의 산기식 폭기법과 기계식 폭기법에 의해 행해진다.

2.4 온도

호기성 생물처리 공정은 온도에 크게 영향을 받는다. 미생물의 성장, 번식 혹은 미생물에 의한 유기물 분해반응의 속도에 미치는 온도의 영향은 어떤 온도범위 내에서는 일반 화학 반응의 원칙에 따른다고 알려져 있다. 미생물은 발육한계 온도에 따라 저온균, 중온균, 고온균의 3개의 무리로 나뉘어지는데 통상의 호기성 처리공정에서 주체가 되는 것은 중온균이다. 미생물 생존온도의 저온한계는 원형질이 동결하기 시작하는 5°C 이며, 활성슬러지 처리는 10°C 이하, 35°C 이상에서는 정화능력이 저하한다고 알려져 있다.

2.5 체류시간

폭기조에서 수리학적 체류시간(HRT)이나 폐수와 접촉하는 고형물 체류시간(SRT)은 각각 중요한 운전조건 변수이다. 미생물이 폐수내의 유기물질을 분해할 수 있도록 충분한 시간이 제공되어야 한다. 침전지에서의 체류시간 또한 생물학적 Floc의 침전시간을 허용한다는 점에서 중요하다.

2.6 pH

호기성 생물처리 공정에 미치는 pH의 영향은 처리에 관여하는 미생물이 생산하는 효소와 관련이 있다. 이른바 효소는 최적 pH 역을 가지며, 이 범위에서 벗어나는 저 pH역,

고 pH역에서는 그 활성이 급격히 저하된다. 미생물의 종류에 따라 그 생육에 미치는 pH의 영향은 다르다. 일반적으로 세균의 생육 최적 pH역은 6.5-7.5 사이에 있고, pH가 9.5 이상, 4.0이하로 저하면 생육할 수 없다.

2.7 독성

활성슬러지의 정화반응은 저해하는 하, 폐수중의 독성물질로는 중금속, 합성 유기화합물, 농약, 합성세제 등을 들 수 있다. 이들 물질은 호흡계와 효소반응계를 저해하여 처리 수질의 악화를 일으킨다.

3. 생물학적처리 시설의 공정관리 지표

활성슬러지 공정을 올바르게 관리하는 것은 불가피한 것으로서, 공정의 관리라는 것은 가동되는 시설과 실질적인 운전 사이에는 차이가 있다. 활성슬러지 공정의 운전관리를 위해 이용되는 기법들에 관해 가시적 지표, 분석지표, 생물상의 지표로 나누어진다.

3.1 가시적인 지표

(1) 색깔

색깔은 빈약한 슬러지와 건강한 슬러지로 구별하는 지표로서, 호기성 조건하에서 건강한 활성슬러지는 암갈색을 나타내는 반면, 충분한 공기를 공급받지 못한 슬러지는 전형적으로 매우 어둡고 검은 색깔을 나타낸다.

(2) 냄새

적절하게 설비를 운영한다면 냄새 또한 지표가 된다. 정상적으로 가동되는 시설에서는 불쾌한 냄새를 발생시키지 않으며 폭기조에서 채취한 건강한 혼합액 시료는 가벼운 곰팡이 냄새가 난다. 그러나 슬러지가 부패하게 되면, 매우 어두운 색깔과 함께 썩은 달걀(황화수소)냄새와 같은 악취가 난다.

(3) 포말

유출수에서 소용돌이치는 하얀 거품 덩어리는 부유고형물 농도가 높다는 것을 암시하며, 폭기조내에서 물결치는 투명한 거품은 체류시간이 매우 짧다는 것을 나타내는 것으로서 슬러지 폐기율을 감소시켜야 한다. 진하고 어두운 거품 덩어리는 오래된 슬러지라는 것을 지적하는 것이므로 슬러지 폐기율을 증가 시켜야 한다.

(4) 조류의 성장

처리시설의 벽면과 Weir에서의 과도한 조류성장은 유입수내의 높은 영양상태를 암시한다. 조류가 자라기 위해서는 인뿐만 아니라 질소도 필요하다.

(5) 폭기형태

물 속에 떠 있는 기계식 폭기장치로부터 산기되는 형태는 폭기장치의 몸날이 적절한 깊이로 잠수되어 있는가를 나타낸다. 아주 조금밖에 산기되지 않는다는 것은 폭기장치가 적절치 못한 잠수 정도를 의미한다.

(6) 유출수의 청정도

침전지 유출수에서의 높은 부유고형물은 공정의 효율악화를 나타내는 것이 분명하다. 만약 고형물의 유출이 침전지 월류언 근처의 한 지점에 집중된다면 월류언이 수평이 아니라는 것을 의미하며 많은 양의 유량이 보다 낮은 월류언 부위로 집중될 것이다. 그리고 물이 월류언을 넘쳐흐르면서 침전지 바닥으로부터 고형물을 밀어 올리게 될 것이다.

(7) 기포

2차 침전지에서의 기포 발생은 슬러지를 너무 오랫동안 잔존 시켰음을 나타내는 것으로서 반송율을 증가시켜야 한다. 침전지 내의 슬러지 층이 너무 깊으면 바닥부위에 있는 슬러지가 혐기화 되어 기포를 발생시키는 황화수소와 이산화탄소 가스를 발생한다. 이러한 현상은 운전상의 문제점들을 야기 시킬 수 있다.

(8) 부상물질

침전지 표면의 부상물질이나 찌꺼기 층은 처리시설로 유입되는 원폐수내에 기름이나 유지류가 많다는 것을 나타낸다. 이것들은 침전을 방해하고 BOD제거 효율 감소의 원인이 된다. 2차 침전지에서의 찌꺼기 층 또한 폭기조 내 너무 많은 공기가 산기 되었음을 암시하며 형성된 공기 방울은 침전지에 침전되기보다는 Floc을 상승시키는 원인을 제공한다.

3.2 분석지표

(1) 용존산소

용존산소 농도가 갑자기 떨어지는 것은 유기물 충격부하가 일어났음을 암시하기 때문에 미생물에 의한 산소 요구량이 공급량보다 많음을 나타내는 것이다. 만약, 폭기조내의 용존산소가 너무 낮다면 미생물의 활성을 저해하여 매우 빈약한 BOD제거를 초래할 것이다. 잉여 용존산소는 산소요구량의 일상적인 변동을 만족시키기 위한 완충 역할을 하기도 한다.

(2) BOD

폭기조로 유입되는 유입수 BOD농도와 2차 침전지에서 유출되는 유출수 BOD농도는 또 다른 중요한 운전지표이다. 이것은 생물학적 처리 공정으로 유입되는 먹이원으로서의 유기물 부하뿐만 아니라 BOD제거 효율과 같은 공정성능에 관한 운전정보를 제공한다. 매일 BOD부하율, 미생물에 대한 먹이비(F/M비)나 영양분 주입율과 같은 여러 가지 운전관리 지표들을 계산하기 위해 필요한 것이다.

(3) COD

COD는 BOD를 평가하는데 사용할 수 있다. COD분석은 신속하게 행할 수 있고, BOD를 예측할 수도 있기 때문에 운전자에게는 유용한 도구이다. 표준 BOD분석이 5일을 필요로 하는데 반해 COD분석은 약 3시간 내에 완결될 수 있다. BOD와 COD자료를 집계하면 COD/BOD비가 결정된다.

(4) 용존산소 섭취율 시험

용존산소 섭취율(DO Uptake Rate)은 운전자가 처리시설의 상태를 감지하기 위해 사용할 수 있는 간단하지만 가치 있는 분석으로서, 생물학적 처리시설의 미생물 활성을 평가할 수 있는 빠르고도 쉬운 기법이다. 폭기조로부터 채취한 활성슬러지 혼합액 시료의 DO섭취율을 측정하고 그 시설에 대한 평균치와 비교하면, 미생물이 평소보다 더 활동적인지 어떤지, 또는 방해받고 있는지 어떤지를 알 수 있다. 용존산소 섭취율 분석은 운전자로 하여금 긴급한 문제들을 해결하고 공정성능에 해로운 영향을 미치기 전에 필요한 조절이 이루어지도록 하는 것을 가능하게 하는 수단으로 이용될 수 있다.

(5) 부유 고형물과 휘발성 부유 고형물

활성슬러지 혼합액의 휘발성 부유 고형물(MLVSS)은 폭기조 내의 미생물 군집농도를 어렵게 잡기 위해 이용된다. MLVSS는 폭기조 내 생물학적 고형물 농도의 근사값으로 사용되기 때문에 특히 중요하다. 총 부유고형물(TSS)과 휘발성 부유 고형물(VSS)자료들은 F/M비나 SRT 등과 같은 공정 관리 지표들을 계산하기 위해 이용된다.

(6) 슬러지 지표

슬러지 지표(Sludge Indicator)는 활성슬러지의 운전 특성을 나타내는 척도로서 이것에는 슬러지 용량지표(SVI: Sludge Volume Index)와 슬러지 밀도지표(SDI: Sludge Density Index)가 있다. SVI나 SDI는 최종 침전지에서 활성슬러지의 고액분리가 좋고 나쁨을 점검하며, 슬러지 반송율을 결정하는 중요한 변수이다.

(7) 영양분

활성슬러지 공정내의 미생물은 그들의 생활 체계를 유지하고, 증식과 폐수내의 유기물질을 분해하기 위해 여러 가지 영양분을 필요로 한다. 질소부족은 폭기조내에 사상성 미생물이나 산란된 미생물 군집의 성장을 유도하여 최종 침전지에서의 침전문제를 초래한다. 100g의 BOD를 제거하기 위해서는 5g의 질소와 1g의 인을 필요로 한다.

(8) 온도

35℃ 이상의 온도에서는 단백질의 변성으로 인해 효소가 파괴되어 공정의 처리효율이 급격하게 감소하며, 온도가 15℃이하로 하락함에 따라 미생물의 활성 또한 하락하여 MLSS 농도를 증가시키는 등의 조절을 해주지 않는다면 처리효율이 감소할 것이다.

3.3 생물상의 지표

(1) 활성 슬러지의 생물상

폐수 중에 함유된 용해성의 유기물은 세균에 의하여 직접적으로 섭취되지만, 미소동물은 이러한 유기물을 영양원으로 하지 않는다. 이로 인하여 폐수의 정화는 세균 등의 미생물이 주된 역할을 담당한다고 생각되지만, 실제적으로 원생동물과 대형 동물 등의 완전동물성 영양의 미생물이 공존하지 않으면 폐수는 정화되지 않는다.

4. 생물학적처리 시설관리 기술 표준표

4.1 유입 BOD량 산출표

폐수유입량 (m ³ /D) CODmg/ℓ BODmg/ℓ		폐수유입량 (m ³ /D)				
		4500	4750	5000	5250	5500
77.5	116.2	523	552	581	610	639
80.0	120.0	540	570	600	630	660
82.5	123.7	556	587	618	649	680
85.0	127.5	573	605	637	669	701
87.5	131.2	590	623	656	688	721
유입BOD = COD X 1.5						

산출공식 : 유입BOD(kg/d)=유입BOD g/m³ X 유입폐수량 m³/d X 10⁻³ kg/g

4.2 영양분 투입량 산출표

구분 BOD량 kg	BOD:N:P=100:5:1 (미생물 초기단계)		BOD:N:P=100:3:05 (미생물 정상단계)	
	요소	인산	요소	인산
450	48.2	16.7	28.8	8.4
500	53.5	18.5	32.0	9.3
550	58.9	20.3	35.2	10.2
600	64.2	22.2	38.4	11.1
650	69.6	24.0	41.6	12.0

- 요소((NH₂)₂CO 성상: 입자) 소요량 산출공식

$$\text{요소소요량 kg/d} = \text{폐수량(m}^3\text{/d)} \times \text{BOD(m}^3\text{/d)} \times 10^{-3}\text{kg/g} \times 5/100 \times 60/28$$

- 인산(H₃PO₄ 성상 : 액체 85%) 소요량 산출공식

$$\text{인산소요량 kg/d} = \text{폐수량(m}^3\text{/d)} \times \text{BOD(m}^3\text{/d)} \times 10^{-3}\text{kg/g} \times 1/100 \times 98/31 \times 1/0.85$$

4.3 영양분 투입량 기록표

일자	BOD (kg)	투입량		1차 유입량		실투입량		감소량	
		요소	인산	요소	인산	요소	인산	요소	인산
8.30	550	59	20	32	5	27	15	32	5

4.4 F/M비 현황 산출표

BOD부하 유입BOD량 MLSS kg MLSS	0.35		0.36		0.38		0.40		0.41		0.43	
	유입BOD량	MLSS	유입BOD량	MLSS	유입BOD량	MLSS	유입BOD량	MLSS	유입BOD량	MLSS	유입BOD량	MLSS
1250	1875	0.28	0.29	0.31	0.32	0.33	0.34					
1500	2250	0.23	0.24	0.25	0.26	0.27	0.28					
1750	2625	0.20	0.21	0.22	0.23	0.24	0.25					
2000	3000	0.17	0.18	0.19	0.20	0.21	0.22					
2250	3375	0.15	0.16	0.17	0.18	0.18	0.29					

- $\text{kg MLSS} = \text{폭기조 용적}(1500\text{m}^3) \times \text{MLSS } \text{g/m}^3 \times 10^{-3} \text{ kg/g}$
- $F/\text{MBI} = \text{유입BOD} \times \text{유입 폐수량} / \text{폭기조 용적} \times \text{MLSS}$
- $\text{BOD 용적부하} = \text{유입BOD} \times \text{유입폐수량} / \text{폭기조 용적}$

5. 결 론

활성슬러지법 유지관리는 유입수 또한 처리수의 BOD, COD, 폭기조의 슬러지량, 용존산소 농도의 측정결과를 바탕으로 실시되어져 오고있다. 본론에서 언급한 것처럼 미생물은 생물학적 폐수처리 시설운영 관리조건을 어떻게 하느냐에 따라서 그 환경조건에 따라 미생물 종류가 다르고 성장속도도 변화한다. 생물학적 공정의 유지관리가 물리화학적 공정보다 전문적인 지식과 경험을 필요로 하므로 꾸준한 노력과 관찰력이 요구된다.

폐수처리 시설운영에 조건인자, 공정관리의 지표에서 가시적인 지표, 분석지표, 생물상의 지표를 중점으로 운영하는 것과 시설상의 결함이 약간 있다 하더라도 운전조건 등을 적절히 변화시켜 적용함으로써 생물학적 폐수처리시설을 효율적 운영에 따라 처리수의 효율은 가일층 향상될 것이다.

6. 참고문헌

- 1) 産業公害研究所, 生物學的 處理方法과 運轉管理 (1986)
- 2) 오영민 外1名, 現場實務者를 위한 活性슬러지法, 同和技術 (1988)
- 3) 美 環境保護廳, 支廳水處理部, D.C 20460發刊, 1085, 環境廳 436/9-85-006
環境廳報告書
- 4) Chambers & Tomlison, bulking of Activated Sludge Preventative and Remedial Methods
- 5) 이성호, 廢水處理의 異常現狀과 그 對策 方案에 關한 研究 (1994)
- 6) 조영일 外2名, 廢水處理工學, 同和技術, (1991)
- 7) 産業公害研究所, 廢水處理場 維持管理 要領資料 第9集(1986)
- 8) (株)東洋淨水, 環境管理, 第8號(1988年 3月)