

개방형 순산소 활성 슬러지 처리 공법의 응용

석유화학 고농도 폐수 처리의 적용 사례를 중심으로

鄭 忠 赫*

Chung, Choong-Hyuk

목 차

- 1. 개요
- 2. 순산소 폭기 기술의 역사
- 3. 순산소 폭기법과 공기 폭기법의 운영인자 비교
- 4. 기존 시설 현황과 개량 설계 기준
 - 4.1 기존 시설 현황
 - 4.2 설계기준
 - 4.2.1 설계용량
 - 4.2.2 수질 기준
- 5. 개량 처리 공정 구성
 - 5.1 기존 공정
 - 5.2 개량순산소 공정
- 6. 설계 운영 인자
- 7. 설비 사양
- 8. 운영 실적 자료의 비교 검토
 - 8.1 운영 결과의 해석
- 9. 개선 효과
- 10. 경제성
- 11. 개방형 순산소 활성슬러지 처리 공법의 활용 범위

1. 개요

(주) L 화학의 석유화학 제품 생산공정에서 발생되는 폐수를 처리하는데는 폐수처리장 A와 B가 동시에 사용되어 왔다. 폐수처리장 A의 설계 처리 능력은 1일 2,500m³이고, B는 1일 1,500m³로서 총

합계 처리 능력은 1일 4,000m³ 규모인 바, 실제 발생된 폐수의 처리 현황은 1994년 6월의 월 평균을 기준으로 총계 1일 3,600m³의 폐수를 처리하였다.

기존 폐수처리 시설의 통상 운전에서 생기는 문제는 (1) 고농도의 오염 부하와 (2) 수시로 발생하는 충격 부하 및 (3) 하절기의 수온 상승으로 인한 용존 산소 부족등으로 기존의 표준 활성 슬러지 처리에 대단한 어려움을 겪고 있었다. 특히 POM 공정에서의 충격 부하 (COD 변동 범위 1,000~6,000mg/L)로 생물학적 처리 공정에 수시로 심대한 장애를 주고 있었으며, 또 하절기의 수온 상승으로 인하여 용존 산소 농도의 유지가 매우 어려웠으므로, 폭기 설비로서 송풍기와 수중 폭기기를 병용하는등 폭기 설비를 대폭적으로 확충하였음에도 불구하고 용존 산소의 농도유지가 어려워져서 이로인하여 최종 처리 수질이 불안정한 상태였다.

그런데, 생산 공장 가동은 중단할 수가 없는 형편이므로 폐수 처리장을 연속 가동하면서 시설 개량을 하도록 해야하는 점이 커다란 문제점이였다. 그러나 이와같은 제반 여건하에서도 시설 개량이 가능한 개방형 하이테크 순산소 활성 슬러지 처리 공법(실용신안 제 80591호)을 채용함으로써 이들 문제를 해결하였다.

즉, 기존 표준 활성슬러지 처리시설을, 개방형 하이테크 순산소 활성 슬러지 처리방식으로 개량하여 안정된 처리능력을 확보하며, 또 폭기조의 처리 능력을 대폭적으로 증대시킬 수 있는 점을 활용하여, 기존 처리장 A 및 B의 유입수를 통합하여 A처리장만으로 유입시켜서 처리 운영하고, 처리장 B를

*수질관리 기술사, (주) 신우 엔지니어링 부사장

타당도로 활용함으로써 처리 시설의 활용성을 높일 수 있도록 하였다.

특히, 개방형 하이테크 순산소 처리 공정의 반송 슬러지에 순산소를 폭기하여 얻는 특징과 장점으로 :

(1) 미생물군의 활성과 증식 효과 상승으로, 폭기조 내에서의 유기물 처리 능력이 높아지므로 폭기조 용적이 공기법의 1/3~1/2 정도로 축소 가능하다.

(2) 잉여 슬러지 생성량이 공기법 보다 30~45% 감소된다.

(3) 슬러지 응집성과 침강성의 대폭적 향상으로 침전조의 처리 능력이 증대된다.

(4) 오염물 충격 부하에서도 안전한 처리 수질을 얻을 수 있다.

(5) DO가 높아 MLSS 농도를 높게 유지할 수 있어서, 처리 능력이 크게 향상된다.

(6) BOD/오니 부하가 높은 경우에도 팽화(BULKING) 현상이 없다.
등의 효과를 얻을 수 있다.

2. 순산소 폭기 기술(OYGENATION TECHNOLOGY)의 역사

생물학적 활성슬러지 처리 공정에서 중요한 핵심이 되는 기술은 폐수중에 오염되어 있는 유기물질을 분해 처리하는 미생물에게 산소를 공급하는 것이다. 그러나 산소의 공급원으로서 공기중의 21% 산소를 활용하는 기존 공기 폭기 방식에는 한계가 있는데, 이는 물 속에서의 산소 이동 속도에 한계가 있기 때문이다. 공기중의 산소를 수중에 공급하는 보편적인 방식으로 산식기 주입, 표면 폭기 또는 수중 폭기의 방식등이 사용되고 있다. 기체 상태인 공기를 15℃의 순수한 물속에 용해시키면 산소로서 약 10mg/L가 녹아 들어간다. 이 한계를 극복하기 위해서 순산소를 사용한 폐수 처리는 1948년에 생물 침전법(Bioprecipitation)으로 Mr. Pirre, M. Jr에 의해 소개 되었다. 이 공정은 Mr. Okum, D.A.

에 의해 실험실 규모로 수년간 연구되었으며, 순산소를 사용한 활성 슬러지법에 관한 최초의 논문이 1949년에 “하수중의 유기물의 생물 응집 시스템”이란 제목으로 발표되었다. Okun의 실험 장치에서는 순산소의 이용 효율이 낮아 처리 비용이 높았으나, 반응조의 용적을 축소할 수 있다는 관점에서 많은 연구자의 관심을 불러 일으키게 되었다.

1957년에 Budd와 Lambeth는 “생물학적 하수 처리에 있어서 순산소의 이용”에서 산소 흡수효율은 20~30% 정도로 매우 낮아서 비경제적이었다.

공기대신에 기체 산소를 물에 주입하는 경우에는 용존 산소가 약 40mg/L 정도로 용해되므로 공기에 비해서 4배 이상의 농도를 유지할 수 있게된다. 그러므로 이렇게 높은 산소 농도를 유지하면 미생물 농도 역시 높게 유지할 수 있게 된다. 미국에서는 1969년 뉴욕 주의 BATAVIA 처리장에서 밀폐형 산소법(UNOX PROCESS)과 공기법을 비교 검토하였다.

이 결과 1971년 미국 연방 수질 관리 위원회가 발표한 내용을 요약해보면,

1) 산소의 전달 속도가 극히 빠르며, 폭기조 내의 높은 용존 산소 LEVEL을 유지할 수 있다.

2) 동일 용적의 처리 시설에서 처리 능력을 증대시킬 수 있다. 극히 높은 용적 부하를 유지할 수 있으며, MLSS는 6,000~8,000mg/L 까지도 유지할 수 있다.

3) 용존 산소 농도가 높고, 높은 미생물 활성이 유지되며 처리 기능이 우수하다.

4) 잉여 슬러지의 발생량이 공기법에 비하여 상당히 적으며, 슬러지 처리에 필요한 비용이 현저히 절감된다.

5) 슬러지의 응집 침강성이 극히 우수하고, 활성 슬러지의 SVI 치가 30~70 정도이며, 또한 농축성이 좋고 반송 슬러지의 농도는 12,000~18,000 mg/L를 유지할 수 있다.

6) 산소의 이용 효율은 90% 이상에 달한다.

7) 산소 발생의 동력 효율이 극히 높다.

상기한 결과등을 바탕으로하여, 순산소 활성 슬러지 처리법은 산소 이용 효율을 향상시키고 밀폐형 폭기조의 단점등을 해소할 수 있는 형태로 계속 개량되어 개방형 순산소 활성 슬러지 공법 (SIDE-STREAM PUMPING, MIXFLO, VITOX; VENTOXAL PROCESS 등)이 다양하게

발전되어 왔다. 최근에 비로소 반송 슬러지에 순산소를 공급하는 활성 슬러지 처리 공법이 국내에서 최초로 실용화 되기에 이르게 된 것이다.

3. 순산소 폭기법과 공기 폭기법의 운영인자 비교

| 항 목 | 단위 | 산소 폭기법 | 공기 폭기법 |
|---|-------------------------------|---------------|-------------|
| 폭기조 용존 산소 농도, | (mg/L) | 4-10 | 1-2 |
| 폭기 시간(원배수 기준), | (h) | 1-3 | 6-8 |
| MLSS 농도, | (mg/L) | 3,000-4,000 | 1,500-2,000 |
| MLVSS 농도, | (mg/L) | 2,400-3,200 | 1,200-1,600 |
| BOD 용적 부하, | (kg-BOD/m ³ · day) | 0.9-2.4 | 0.8 |
| BOD 슬러지부하, | (kg-BOD/kg-MLVSS · day) | 0.3-0.6 | 0.2-0.4 |
| 반송 슬러지 농도, | (mg/L) | 12,000-18,000 | 7,000-9,000 |
| 반송 슬러지 비, | (%) | 20-100 | 20-30 |
| 슬러지 지표, SVI | | 30-70 | 100-150 |
| 잉여 슬러지 생성량 | (kg-TSS/kg-제거 BOD) | 0.5-0.8 | 0.7-1.0 |
| 동력 소비, kwh/m ³ -O ₂ , 용해 및 혼합 | | 0.37-0.49 | 1.15-1.50 |
| 공기분리 | | 0.54-0.57 | |

4. 기존 시설 현황과 개량 설계 기준

4.1 기존 시설 현황

폐수 처리장 A 처리 규모 : 2,500m³/일

폐수 처리장 B 처리 규모 : 1,500m³/일

4.2 개량 설계 기준

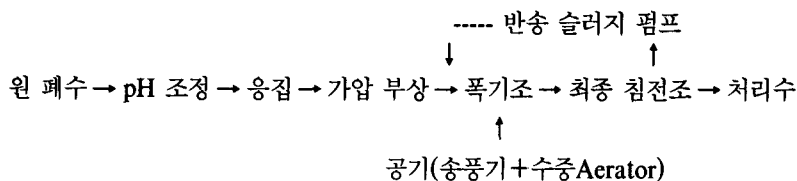
4.2.1 설계용량 : 폐수 처리량 1일 3,600m³

4.2.2 수질기준 :

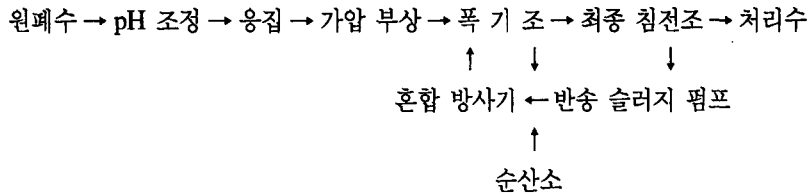
| 항 목 | 폭기조 유입수 | 처리수 | 방류 기준 | '96.1.1기준 |
|-------------|---------|-----|---------|-----------|
| PH : | | | 5.6-8.6 | |
| COD, mg/L : | 1,100 | 105 | 150 이하 | 130 이하 |
| BOD, mg/L : | 1,000 | 100 | 150 이하 | 120 이하 |
| SS, mg/L : | 100 | 50 | 150 이하 | 120 이하 |

5. 개량 처리 공정 구성

5.1 기존 공정(공기 주입식 표준 활성슬러지 처리 공정)



5.2 개량 순 산소공정(개방형 하이테크 순산소 폭기 방식에 의한 생물학적 처리)(별첨 공정도 P&ID 참조)



상기한 2개 공정상의 현격한 차이점은, 기존 공정의 반송 슬러지 펌프는 단순히 침전 슬러지를 폭기조로 되돌려 주는 역할만 하는데 반하여, 개량 순산소 공정에서는 반송 슬러지 펌프 출구 배관에 순산소를 주입함으로써 침전조에서의 체류시간 경과로 인하여 조성된 무산소 분위기 속의 반송 슬러지로 하여금 용존 산소 섭취를 활발하게 만들뿐 아니라 반송 슬러지 펌프의 동력을 활용하여 반송 슬러지와 산소 혼합액을 수중에 고속 분사함으로써 폭기조에서의 미생물과 산소 혼합 효율을 극대화하여 용존 산소의 농도를 필요로 하는 목표치까지 높여줌으로써 에너지 절감효과도 동시에 얻게한다.

6. 설계 운영 인자 :

- 1일 처리량(m^3 /일): 3,600
- 재 순환율(%) - 100
- 원 수 COD 농도: 1,000 mg/L [총 COD(kg/일) - 3,600]
- 처리수 COD 농도: 105 mg/L
- COD-용적 부하: 0.84 kg-COD/ $m^3 \cdot$ 일
- COD-SS 부하: 0.24 kg-COD/kg-MLSS
- 일
- 폭기조 MLSS: 3,550 mg/L
- O_2 소요량: 4,400 kg/D

7. 설비 사양

(기존 A처리장+개방형 하이테크 순산소 설비)

7.1 폭기조

- 수 량: 10 조
- 재 질: 철근 콘크리트
- 규 격: 9,800^W×9,800^L×4,500^H(432.2 m^3)
- 유효용량: 4300 m^3 (430×10조)
- 폭기시간: 28.7시간
- 부대시설: 혼합 방사기 [60대]
DO 미터 [0~10 PPM × 1조]

7.2 2차 침전조

- 수 량: 1조
- 재 질: 철근 콘크리트
- 규 격: ϕ 16,000
- 용 량: 502 m^3
- 체류시간: 4.99시간
- 표면부하: 17.9 m^3/m^2 /일
- 부대시설: 반송펌프[2.50 m^3 /분×40mH×25kw×2대(1대예비)]
순환펌프[8.84 m^3 /분×40mH×75kw×2대(1대예비)]

8. 운영 실적 자료의 비교 검토

| 항 목 | 단 위 | 설계치 | 순산소공정 | 기존공정 |
|---------------|-------------------------------------|-------|-------|-------|
| 1) 원폐수 처리량 | (m ³ /D) | 3,600 | 3,520 | 2,464 |
| 2) 총 유입 COD | (kg/D) | 3,600 | 2,883 | 2,326 |
| 3) 유입수 COD | (mg/L) | 1,000 | 819 | 944 |
| 4) 처리수 COD | (mg/L) | 105 | 104 | 134 |
| 5) 처리율, | (%) | 89.5 | 87.3 | 85.8 |
| 6) 용존 산소, 폭기조 | (mg/L) | 4.0 | 5.9 | 1.3 |
| 7) MLSS, 폭기조 | (mg/L) | 3,550 | 3,665 | 3,601 |
| 8) 폭기시간 | (시간) | 28.7 | 29.3 | 41.8 |
| 9) COD-용적 부하 | (kg-COD/m ³ · D) | 0.84 | 0.67 | 0.54 |
| 10) COD-SS 부하 | (kg-COD/kg-SS · D) | 0.24 | 0.18 | 0.15 |
| 11) SVI | (Sludge Volume Index) | - | 89 | 169 |
| 12) 침전조 표면부하 | (m ³ /m ² /D) | 17.9 | 17.5 | 12.3 |

8.1 운영 결과의 해석

(1) 순산소 공정의 COD-용적 부하는 0.67kg-COD/m³ · D이고, 기존 공정의 COD-용적 부하는 0.54 kg-COD/m³ · D으로 24%가 상승되었다. 이것은 폐수 처리장 A와 B의 운영 결과치이다.

(2) COD-SS 부하는 0.18 kg-COD/Kg-MLS S.D이었다.

(3) COD 1kg당 산소 공급량은 1.611Kg이었다. 이는 설계 기준 산소 요구량보다 32% 정도 높은 것으로, 그 원인은 첫째, 폭기조의 용존 산소 농도를 너무 높게 5.9mg/L 정도로 유지한 점과 둘째로 폭기조의 평균 수온이 섭씨 34.5도로 높아서 산소의 용존률이 낮았던 때문인 것으로 판단된다.

(4) 폭기조 체류시간은 29.3시간으로, 기존 41.8시간의 70%로 감소되었고, 산소 혼합 상태는 양호하였으며, 용존 산소의 농도 조절은 자동으로 용이하게 이루어졌다.

(5) 유입수의 COD 평균값은 819mg/L이며, 변동 범위가 638~1221mg/L 까지 컸으며, 수시로 유입수의 수질 상황이 변동되는 상태였다.

(6) 침전지에서의 슬러지 반송량은 유입수를 기준

하여 100%를 기준으로 하고 있으나, 반송 슬러지 펌프 흡수정의 수위 조절 문제로 기준치 이하로 운영되었다.

(7) 폭기조내의 용존 산소 농도는 평균치 5.9mg/L로 유지 되었으며, 농도의 변화는 산소 주입 유량 설정치를 조정함으로써 용이하게 변동시킬 수 있었다.

(8) 폭기조 미생물의 침전성은 극히 양호하여 SVI는 89.3이었으며, 이는 기존 공정의 SVI값 169의 약 52.8%값이다. 침전성이 2배 정도 개선되었다.

이 결과로 A침전지 하나로서 A와 B의 유입 폐수를 통합 처리해도 처리수의 안정된 부유물(SS)농도를 유지할 수 있다.

9. 개선 효과

(1) 처리 효율 개선:

-COD 제거율이 기존 처리 공정 보다 17~30% 정도 개선되었음

-침전조의 처리 능력이 42.3% 상승 되었음

-폭기조 처리 능력이 43% 상승되었음

(2) 전력 절감:(설비 가동 중단)

A 처리장 Blower 37 Kw× 4대
수중 Aerator 11 Kw×11대
기존 반송 펌프 30 Kw× 1대

B 처리장 Blower 37 Kw× 3대

(3) 잉여 슬러지 발생량 감소(40%감소)

(4) 소음진동해소

(5) B처리장(1,500m³/일 규모)은 잉여 설비로서
타용도로 전용 가능

10. 경제성

10.1 운전비용 절감

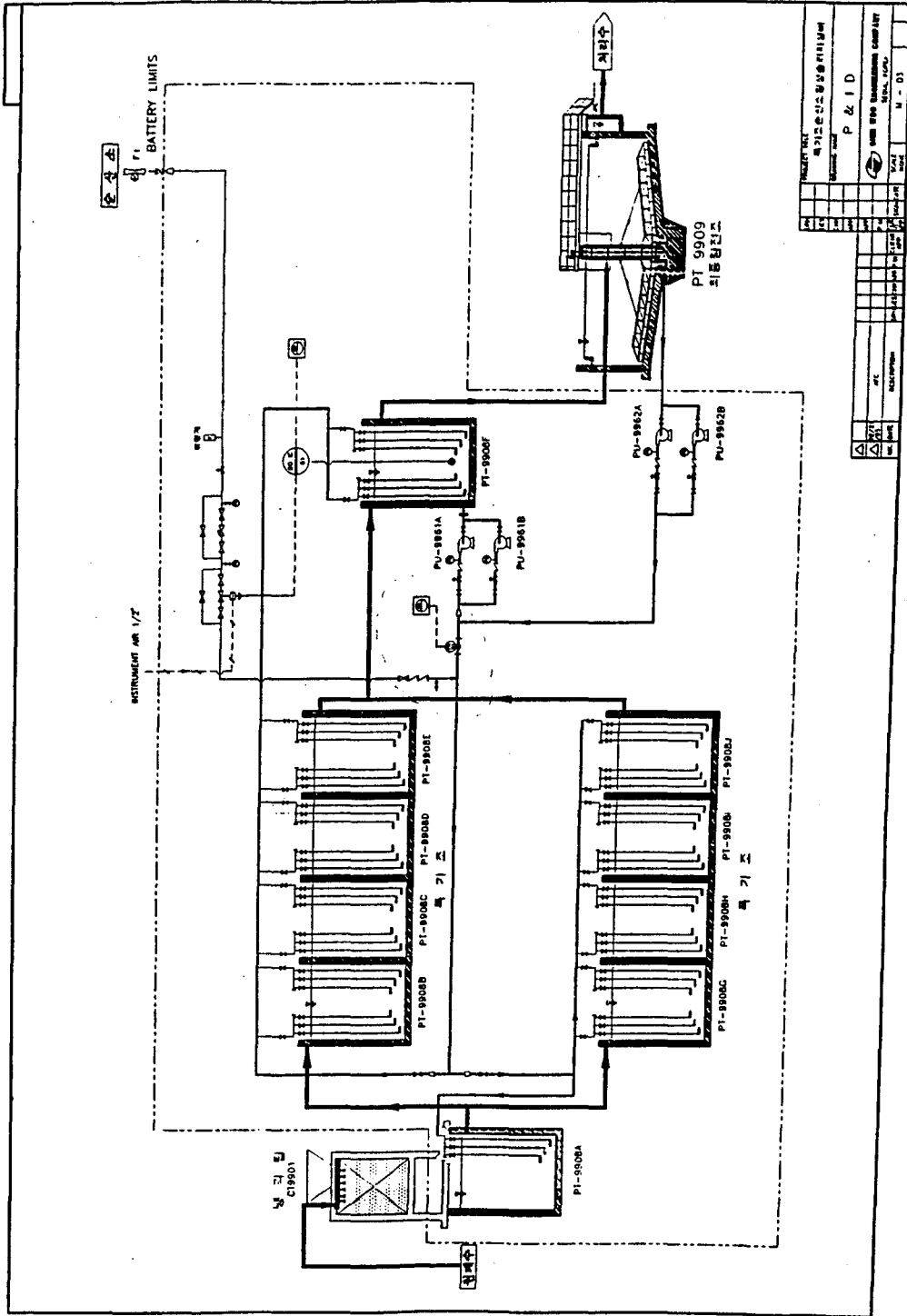
- 1) 전력비 절감: $177,404 \text{ KWH} \times 40\text{원/KWH} \times 12\text{월/년} = 85,154,000\text{원/년}$
 - 2) 슬러지 케이크 반출비용 절감: $95.2 \text{ MT/월} \times 38,000\text{원/MT} \times 12\text{월/년} = 43,411,000$
 - 3) 위탁 처리비용 절감: $9,131,000\text{원/월} \times 12\text{월/년} = 109,572,000\text{원/년}$
 - 4) 수선 비용 절감: 5,970,000원/년(94년 기준)
 - 5) 약품 비용 절감: 54,000,000원/년
계 : 298,107,000원/년
- 단, 산소(기체) 구입 비용: 138,600,000원/년(기체 산소 70원/kg 기준)

10.2 투자비 절감

- 1) 노후 설비(AERATOR 등) 교체 비용 불필요: 200,000,000 원
- 2) ROOTS BLOWER 방음 설비 불필요: 120,000,000 원
- 3) B처리장(1,500m³/일 규모)은 잉여 설비로서 타용도로 전용 가능.

11. 개방형 순산소 활성 슬러지 처리 공법의 활용 범위

- 1) 생물학적 활성 슬러지 처리 방법을 사용할 수 있는 모든 처리 공정에 경제적인 처리 시스템으로 적용할 수 있다.
- 2) 신설하는 활성 슬러지 처리 공정을 경제적인 부지내에 설치할 수 있다.
- 3) 기존 활성슬러지 처리공정의 용량 부족으로 고심하고 있는 경우에, 처리 용량을 증가시키는 개량이 대단히 용이하며, 저렴한 비용으로 개량할 수 있다.
- 4) 현재 활성 슬러지 공법을 사용하는 처리장으로서, 배출수 허용기준을 만족시키기 위한 공정 개량은 용이하며, 저렴한 비용으로 할 수 있다.



| | |
|----------|--------------------------|
| PROJECT | 제기서동작장치설계도 |
| DATE | 1996. 12. 14 |
| DESIGNER | P & I D |
| CHECKER | |
| SCALE | |
| NO. | 9909 |
| COMP. | HYUNDAI ELECTRIC COMPANY |
| REV. | |
| DATE | |
| BY | |
| DATE | |
| REV. | |
| DATE | |
| REV. | |
| DATE | |
| REV. | |