



전병준

(주)프라임텍인터내셔널  
기술지원부장

# 효율적이고 안정 관리를 위한 산업폐수 처리기술<30>

## 목 차

### 1. 산업폐수 처리를 위한 기초 개념

- (1)현탁 입자의 제거방법
- (2)슬러지의 침전 부상처리
- (3)용해성 물질의 제거방법
- (4)저농도 유기물의 제거방법
- (5)무기성 오염물의 제거방법

### 2. 석유화학 공장의 폐수처리

- (1)정유공장의 폐수처리
- (2)일반 석유화학 공장의 폐수처리

### 3. 제지·펄프공장의 폐수처리

### 4. 합섬·염색공장의 폐수처리

### 5. 식품공장의 폐수처리

### 6. 제철·철강공장의 폐수처리

### 7. 미수·위생처리장의 폐수처리

### 8. 특정 오염물질의 처리기술

### 9. 폐수처리 신기술에 대한 이해

### 10. 폐수 재활용 기술과 안정관리

## 2. 개량형 산화처리법(Oxidation Technologies)

가. 고도산화(Advanced Oxidation Technologies)처리법

### 1) 기술의 개요

본 기술은 벤젠, 페놀, TCE 등과 같은 독성 및 난분해성 유기화합물을 산화 분해 시키는 기술로써, Hydroxyl Radical ( $\cdot OH$ )을 수중에 생성시켜, 수중에 오염되어 있는 각종 독성, 난분해성 유기물질을 최종적으로  $CO_2 + H_2O$ 로 산화, 분해시키는 수처리 기술이다.

### 2) 처리기술의 주요 내용

수중의 오염물을 산화시키는 기존의 방법들의 일종으로서 염소제와 같은 산화제를 대체하는 산화기술을 이용하는 방법 또는 산화제와 병용하여 효율을 상승시키는 방법으로서 다음과 같은 방법들이 일반적으로 적용된다.

이들방법들의 주용한 반응식이나 개념은 다음과 같으며, 산화능력을 상승시키는 다양한 형태의 기술들을 조합하거나 병용하므로써 상승효과를 얻도록 한 특징이 있다.

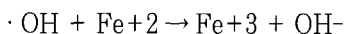
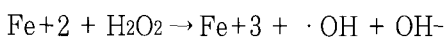
산화제 종류	Oxidation Potential(Volts)	Relative Oxidation Power
Flurine (불소)	3.03	2.23
Hydroxyl Radical (수산기)	2.80	2.06
Atomic Oxygen (산소)	2.42	1.78
Ozone (오존)	2.07	1.52
Hydrogen Peroxide (과산화수소)	1.77	1.30
Perhydroxyl Radical (과수산기)	1.70	1.25
Permanganate (CODmn 측정시약)	1.68	1.24
Chlorine Dioxide (이산화염소)	1.57	1.15
Chlorine (염소)	1.36	1.0
Oxygen (산소)	1.20	0.88

【 표. 각종 산화제의 산화력 비교 】

- UV를 사용하지 않는 방법 ..... ⊙ 펜톤산화법  
(과산화수소 + 철염)  
⊙ Ozone 산화
- UV를 사용하는 공법 ..... Homogeneous ..... ⊙ UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>  
⊙ UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/철염  
⊙ UV/Ozone  
⊙ UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/Ozone
- Heterogeneous ..... ⊙ UV/TiO<sub>2</sub>  
⊙ UV/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>
- 기타 방법 ..... ⊙ E-Beam  
⊙ 초임계산화 등

## 1) 펜톤산화법

- ▶ 반응 원리 : 과산화수소와 2가의 철이온이 반응하여 OH Radical 발생.

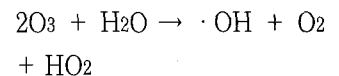


- ▶ 문제점 ① 반응 촉매로 사용되는 철에 의해 수산화물 형태의 다량의 슬러지가 발생.

② 처리 효율을 개선하기 위해 펜톤산화법에 UV 또는 Visible Light를 추가한 UV/Fenton 시스템이 적용되는 추세

## 2) 오존 산화

▶ 반응 원리 : 높은 pH에서 오존은 OH Radical 발생.



▶ 문제점 ① OH Radical 생성율이 낮음.

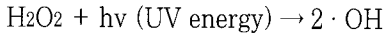
② 오존은 일부 유기물과 반응이 느리거나, 어떤 유기물과는 전혀

반응하지 않는 등 유기물과의 반응에서 선택적이며, 특히 독성가스로서 물에 대한 용해도가 낮음.

③ 오존발생기는 비교적 고가이며, 오존 누출에 대한 안전 문제가 발생 가능.

3) Homogeneous UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

▶ 반응 원리 : 과산화수소에 UV light를 조사시켜  
OH Radical 발생.

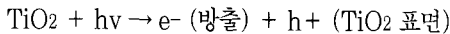


- ▶ 문제점 ① OH Radical 생성효율을 증대시키기 위해 철염을 촉매로 사용(일반).
- ② UV lamp 효율이 20%로 낮아 에너지 비용이 높은 단점 보유.
- ③ 철염에 의한 스케일이 석영관에 Fouling 현상을 방지하기 위해 별도의 방지 Unit필요한 경우가 대부분임.

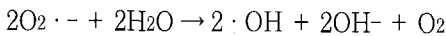
- ④ Lamp의 수명이 비교적 짧기 때문에 빈번한 교체가 불가피하며, 고전압을 필요하므로 전력비 사용이 많다.
- ⑤ 고농도 오염원의 제거에는 부적합 하다.

4) Heterogeneous - UV/TiO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

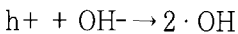
▶ 반응 원리 : 반도체 성질을 갖고 있는 촉매인 TiO<sub>2</sub>를 수중에 현탁시켜 UV Light를 조사시키면, 에너지적으로 여기(Emission)되어 방출된 전자는 수중의 용존산소 또는 과산화수소와 반응하여 OH Radical을 형성시키고, 또한 TiO<sub>2</sub> 광촉매 표면의 정공에 의해 OH Radical이 형성되는 촉매반응을 이용.



○ 전자의 반응



○ 표면의 반응



- ▶ 문제 ① 촉매인 TiO<sub>2</sub>를 회수하여 재사용하기 위한 별도의 장치가 필요.
- ② 폐수 성분중 촉매 표면에 흡착되는 성질의 성분이 있는 경우, 효율이 급격히 떨어지는 한계점 발생.
- ③ UV/TiO<sub>2</sub> 방법은 응집 침전과 같은 전처리 과정 없이 처리 가능하다고 하나 실제 적용시 충분한 효과를 얻기는 부족한 것이 일반적임.

3. 개량형 미생물종을 이용한 처리 신기술(Oxidation Technologies)

가. 특정 균주를 이용한 유분의 제거 및 토양복원

1) 기술의 개요

본 기술은 Biotechnology의 부각과 함께 최근 많은 연구들이 진행되는 분야로서, 생물학적인 처리만으로는 대단히 처리가 어려운 유분(Oil성분)의 분해를 위해 특정 작용효소분을 이용하는 기술에 해당된다. 자연계에 존재하는 다양한 미생물 균주들 중에서 바실러스, 노카르디아, 아시에토박터 등의 특정 균주들은 유분을 분해하는 성질을 갖고 있기 때문에 이를 집중 배양하여 미생물처리효율을 높임으로서 토양복원이나 유분의 제거에 이용되는 기술이다

2) 처리기술의 주요 내용

일반적인 미생물처리 공정에 대하여 주로 생육되는 균종의 전환이 가장 기본적인 사항이 된다.

따라서, Oil 분해능력을 갖는 균주의 개체수의 증식을 위한 최적 생육환경의 조성 등이 따라야 하나 현재로는 적용 기술보다는 균주의 선택에 기술의 초점이 맞추어져 있는 상황이다.

특히 Bio-technology의 발달과 함께 균종에 대한 집중적인 탐구와 배양기술을 접목시켜 유분에 효율적인 제거방법들이 소개되고 있으며, 부분적으로는 활성오니설비에 배양장치를 별도로 부착시켜 분해균주를 연속적으로 공급해 주는 기법까지 국내에 소개되고 있는 실정이다.

### 3) 기술의 장·단점

제거의 대상이, 폐수중의 성분이 일반적인 유기물성분보다는 특정 성분의 제거에 집중되어 있으므로 부분적인 탄소원의 부족이나 영양원의 부족 등이 필연적으로 따르므로 이를 조절해 주기 위한 균형의 유지가 필요하며 현실적으로 단시간에 고농도의 유분을 제거하기에는 기술적인 어려움이 있는 것이 현실이다. 이와함께 일부의 제거효과는 있으나 유분중의 경질유분에 대해서는 부분적인 효과가 있더라도 중질유분에 대해서는 기대효과가 극히 작은 등의 단점이 관찰되고 있어 지속적인 관련 기술과의 접목이 필요한 것으로 알려지고 있다.

### 나. 효소를 이용한 특정 오염물질의 제거 기술

#### 1) 기술의 개요

이 기술 역시 Biotechnology의 부각과 함께 활발한 연구들이 진행되는 분야이며, 최근에 실용화를 위한 준비단계에 있는 기술이다.

예로서, 녹조류(Fungi)본 기술은 Biotechnology의 부각과 함께 최근 많은 연구들이 진행되는 분야로서, 유전공학적인 기법을 이용하여 만들어진 재조합 미생물을 이용하여 리그닌과 같이 분해가 어려운 오염물질을 산화시키거나 제거하는 방법이다.

#### 2) 처리기술의 주요 내용

가) Fungi의 LDS(Lignin Degrading-enzyme System)를 활용한 환경유해물질 제거기술

난 분해성인 lignin은 자연계에서 white-rot fungi와 일부 박테리아에 의해서 서서히 분해되는 것으로 알려져 있고, 이러한 작용을 하는 효소로는 lignin peroxidase, laccase, manganese peroxidase, glucose oxidase 등의 여러 효소들이 상호 복합작용

을 하여 lignin을 분해시킨다.

대표적인 효소로 Lignin peroxidase(LiP)는 extracellular glycosylated heme protein으로서 lignin계 방향족 화합물을 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-dependent one-electron oxidation으로 aryl cation radicals로 만들고, 이들은 다양한 비효소반응으로 저분자 물질로 변환시키고 결국 난분해성 물질인 리그닌을 분해시키는 효과를 나타내므로 이들을 이용하여 제지공정 폐수와 같이 고농도 대용량 오염물의 제거를 촉진시키는 방법이다.

#### 나) LDS에 의한 여러 유기물질의 산화

위에서 설명한 것처럼 LDS는 여러종류의 방향족화합물을 산화시키거나 저분자 물질로 변화시킬 수 있는 능력을 가지고 있는 몇가지 효소로 구성되어 있는 system이다. 폐수중 난분해성이며 유독성분으로 분류되는 Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), Chlorinated phenol, Polychlorinated biphenyls (PCBs), Pesticides, Trinitrotoluene (TNT), Industrial dyes등의 lignin이 LDS에 의해서 부분적으로 분해되고 있다는 사실들이 알려지고 있어 이를 이용한 다양한 기술들이 신기술로 계속적인 발전단계에 있다.

#### 3) 기술의 장·단점

효소를 이용한 미생물처리 기술은 역시, 간편한 조작을 통한 효소의 생육과 단시간에 대용량을 처리할 수 있는 설비적인 접목 부분이 가장 큰 문제로 작용하고 있다. 이와함께 특정 효소의 대량의 분리기술이나 산업폐수에 접목시의 경제성 등의 부분에서 Maintenance cost등도 함께 검토되어야 할 부분이다. 현실적으로 광범위하게 적용되기는 어려운 부분이나 산업체의 오랜 과제를 제거하는 기술인 만큼 관련기술의 접목을 통해 보다 현실적인 적용기술의 개발이 계속 필요하다

고 할수 있다.

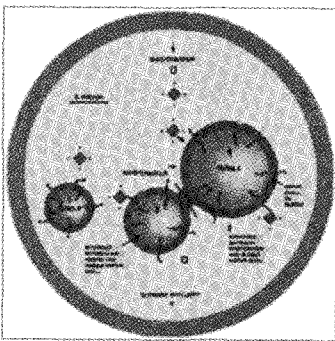
#### 4. 개량형 설비를 접목한 신기술

##### 가. 이온화된 미세기포 부상법

###### 1) 기술의 개요

본 기술은 미량의 계면활성제를 이용하여 가압수(용적당 40~60%의 공기를 함유한)를 만들어 형성시키는 5-50 $\mu$ m 크기의 이온성 초미세기포를 생성시켜 고액 분리효과를 증대시키는 기술이다.

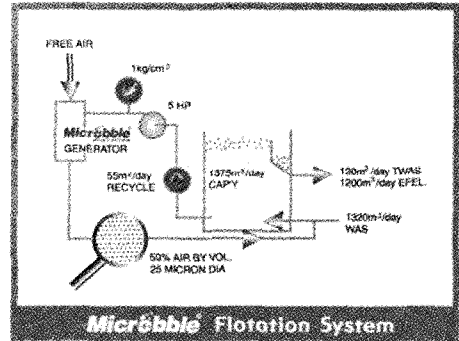
기존의 DAF 부상 및 침전 처리가 불가능한 고농도·고점도의 축산폐수, 칩출수, 분뇨폐수등의 초기 부하량을 감소시키는 전처리 고액부상분리 System으로 소개되는 것으로 특정오염물에 대해서는 처리효과가 높은 것으로 알려지고 있다.



〈이온화된 Microbubble〉

###### 2) 처리기술의 주요 내용

DAF(Dissolved Air Floating)와 IAF(Induced Air Floating)법과 같은 가압부상법을 개량한 방법으로 분류될 수 있으며, 계면활성제와 같이 Bubble의 표면에 하전을 주어 입자와 흡착성을 높여 고액분리효과를 높이는 것이 특징이다. 또한, 고액분리 효과를 좌우하는 Bubble의 Size를 작게하기 위해 설비중에 고압의 Generator를 연속 가동하여 Mixing Cham



〈Microbubble system의 개요도〉

ber에서 가압수를 만드는 기존의 DAF와 유사한 설비 구조를 갖는다.

운전적인 특징으로는, 미량의 계면활성제를 이용하여 용적당 40~60%의 공기를 함유한 5-50 $\mu$ m 크기의 이온성 초미세기포를 생성시켜 정적인 상태로 분사 주입하여 2-3%의 적은 순환수와 DAF Bubble의 200배에 해당하는 표면적을 이용한다는 특징을 갖는다.

(별도의 Microbubble 생성장치에 의해 운전되는 특징이 있음.)

###### 3) 기술의 장·단점

우선 오염성분과의 흡착을 돕는 이온화 작용을 위해 별도의 계면활성제를 미량사용함으로써 거품의 문제가 발생할 수 있다. 90년대초 염색폐수의 색도를 제거하기 위해 러시아의 유사기술이 국내에 소개된바 있으나 거품의 문제가 극심한 단점으로 실제 적용성을 갖지 못했던 부분으로 정상운전시의 부수적인 문제점의 유발가능성과 함께 Maintenance Cost가 예상보다 높을 수 있다. 이와함께 실제 현장의 가변적인 운전조건에 대하여 적용성에 대한 부분이 아직 보편적인 검증을 거치지 않은 상태로 실제 적용을 위해서는 반드시 Pilot규모의 적용성 시험을 거치는 것이 추천되어진다.

다음호에 계속...