

고정생물막공법과 AOP공법을 이용한 고차처리 공정개발에 관한 연구

(3)

박태주

부산대학교 환경공학과 교수

목 차

제 1 장 서론
 제 1 절 연구목적 및 필요성
 제 2 절 연구내용 및 범위
 제 2 장 Fenton 산화공정과 관련된 문헌고찰
 제 1 절 Fenton 산화반응에 있어서 OH radical 반응 메커니즘
 제 2 절 Fenton 산화의 특성 및 적용의 예
 제 3 장 실험재료 및 방법
 제 1 절 Fenton 산화 실험
 제 2 절 고정생물막공법 실험
 제 3 절 고정생물막 반응기의 운전
 제 4 장 결과 및 고찰
 제 1 절 Fenton 산화 실험
 제 2 절 회분식(Batch) 고정생물막 반응기 실험
 제 3 절 연속 고정생물막 반응기 실험
 제 5 장 결론
 제 6 장 기대효과 및 활용방안
 제 1 절 기대효과
 제 2 절 활용방안

제 3 절 연속 고정생물막 반응기 실험

1. 유기물 제거효율 비교

그림 4.14는 삼성석유화학(주) 폐수처리장 방류수를 기질로 하여 Fenton 산화전처리한 것과 하지 않은 시료에 COD 70 mg/L에 상당하는 합성폐수를 첨가

하여 만든 유입수를 고정생물막 반응조에 유기물 부하 0.1kg COD/m³day로 주입하여 운전한 결과를 나타낸 것이다. 운전기간 동안 유입수 TCOD_{Cr} 농도는 114~200 mg/L로 평균 141.6 mg/L이었으며, 유출수 질은 산화 전처리한 고정생물막 반응조 유출수의 TCOD_{Cr}는 22~84 mg/L로 평균 41.7 mg/L이었고 산화 전처리를 하지 않은 고정생물막 반응조의 유출수 TCOD_{Cr}는 38~130 mg/L으로 평균 73.0 mg/L로 나타나 산화 전처리한 경우가 평균 31.3 mg/L정도 낮은 양호한 유출수질을 나타내었다. 이러한 결과에 알 수 있듯이 최종방류수내의 난분해성 유기물질들이 H₂O₂에 의해 분해용이한 물질로 전환되어 미생물이 분해하기가 용이하였던 것으로 사료되었다.

두 반응조 유출수의 TCOD_{Cr}변화폭은 Fenton 산화 처리한 경우 최대 62 mg/L, Fenton 산화처리하지 않은 경우 92 mg/L로 Fenton 산화전처리를 한 경우가 변동폭이 30 mg/L 더 낮게 나타나 Fenton 산화처리가 유출수질의 안정성에도 영향을 미침을 알 수 있었다.

유기물제거효율의 경우 산화전처리한 고정생물막 반응조가 최소 54.7%에서 최대 86.7%로 평균 71.3%였고, 전처리하지 않은 고정생물막 반응조는 23.3%~69.8%로 평균 48.3%로 나타나 산화전처리를 한 고정생물막 반응조가 전처리를 하지 않은 반응조보다 제거효율이 23% 더 높게 나타나 Fenton 산화 처리가 난분해성 유기물제거에 효과적인 것으로 사료되었다.

그림 4.15는 전 운전기간 동안의 유입수와 유출수의

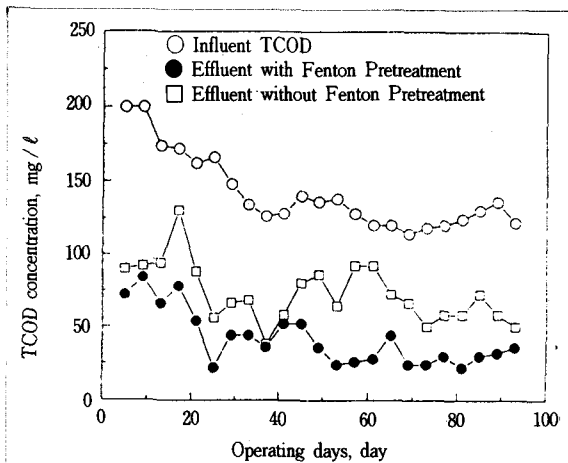


그림 4.14 TCOD_{Cr} concentration with / without Fenton oxidation pretreatment in continuous operating of fixed-film reactor.

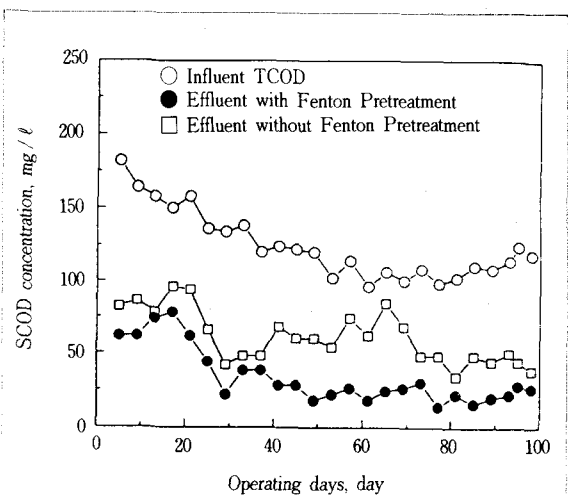


그림 4.15 SCOD_{Cr} concentration with / without Fenton oxidation pretreatment in continuous operating of fixed-film reactor.

SCOD_{Cr}를 비교한 것으로, 두 반응조 유출수의 TCOD_{Cr} 변화폭은 Fenton 산화처리한 경우 최대 37.7 mg/L, Fenton 산화 처리하지 않은 경우 47.9 mg/L로 Fenton 산화 처리를 한 경우가 변동폭이 10.2 mg/L 정도 낮게 나타났다. 이러한 결과는 TCOD의 경우에 비해 낮은 차이를 나타내었는데 이는 TCOD의 경우는 반응조내에서 유출되는 미생물에 의한 영향이 있기 때문에 운전에 따라 발생하는 유출수내의 SS성분에 의 환경관리인. 1996. 2

해 유출수질의 변동이 큰 것으로 판단되었다.

Fenton 산화처리를 한 고정생물막 반응기의 제거율은 48.0%~85.7%로 평균 74.0%였고, 전처리하지 않은 고정생물막 반응조는 20.8%~68.7%로 평균 50.7%로 나타나 산화 전처리를 한 고정생물막 반응조가 전처리를 하지 않은 반응조보다 제거효율이 평균 23.3% 더 높게 나타나 결과적으로 Fenton 산화처리를 한 반응기의 경우가 보다 효과적인 유기물질 제거를 기대할 수 있는 것으로 나타났다.

2. 유출수의 COD_{Mn} 비교

그림 4.16과 4.17은 운전기간 동안의 유입수 COD_{Cr}에 대해 유출수의 COD_{Mn}을 비교하여 나타낸 것이다. 먼저 TCOD를 보면 산화 전처리한 고정생물막 반응조의 TCOD_{Mn}은 10~25 mg/L로 평균 17.2 mg/L이었고, 산화 전처리하지 않은 고정생물막 반응조의 TCOD_{Mn}은 18~50 mg/L로 평균 30.4 mg/L로 나타나 산화처리를 한 경우가 COD_{Mn}의 경우도 평균 13.2 mg/L 정도 낮게 나타났다. 그림 17에 나타난 바와 같이 유출수의 SCOD_{Mn}은 산화 전처리한 고정생물막 반응조의 경우 5~22 mg/L, 평균 11.2 mg/L로 나타났으며, 산화 전처리하지 않은 경우 SCOD_{Mn}은 12~42 mg/L, 평균 19.0 mg/L로 산화 전처리한 고정생물막 반응조가 산화 처리하지 않은 고정생물막 반응조보다

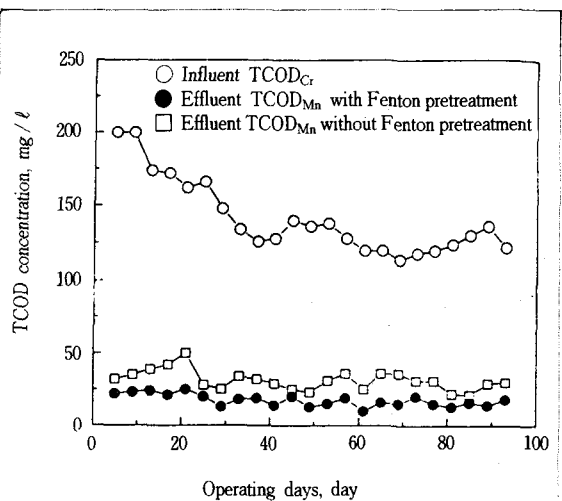
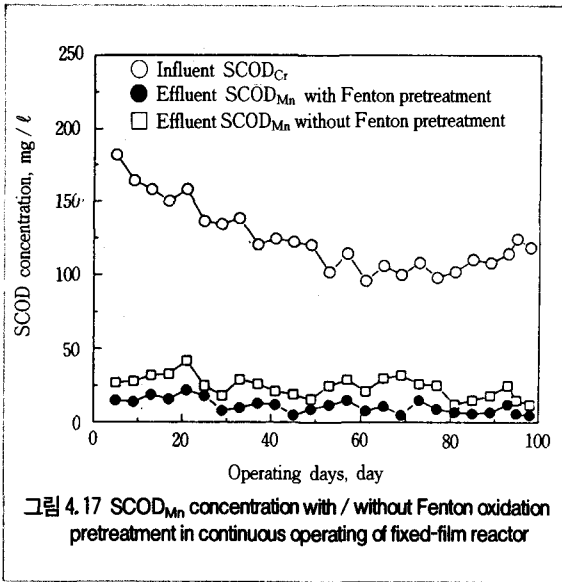


그림 4.16 TCOD_{Mn} concentration with / without Fenton oxidation pretreatment in continuous operating of fixed-film reactor.

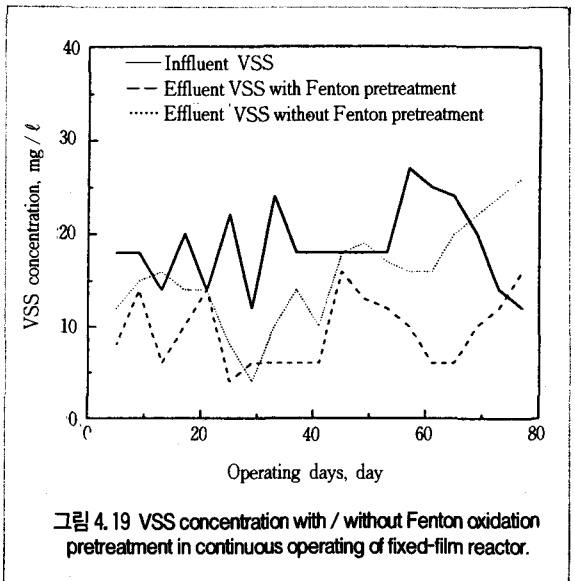
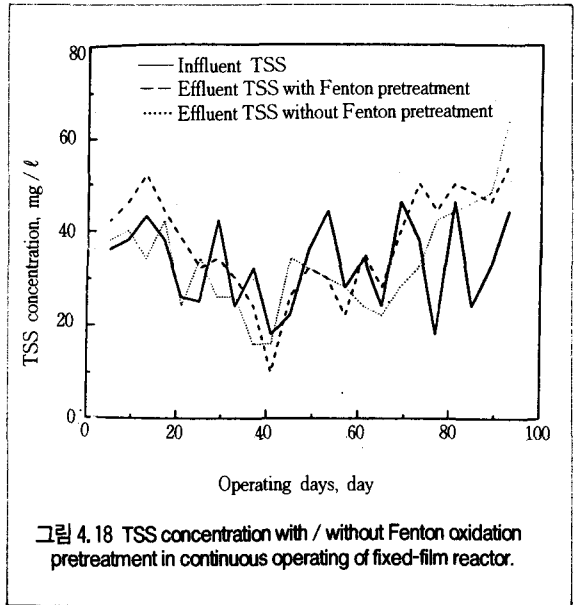


7.8 mg/L가 낮게 나타났다. 이러한 결과에서도 앞에서 언급된 바와 같이 Fenton 산화 처리시 양호한 유출수질을 얻을 수 있는 것으로 나타났다. G.E. Speitel²⁵⁾의 연구에 따르면 오존에 의한 처리를 통하여는 여러 가지 물질에 대해 실험을 한 결과 평균적으로 60%의 제거효율을 나타내었는데 본 실험에서의 Fenton에 의한 산화처리과정을 통하여는 71.3~86.7%의 제거효율을 나타내어 Fenton 산화처리가 효과적임을 나타내었다. 물론 이에 대해서는 제거대상 폐수내 함유된 주요 물질의 특성에 따라 차이가 있을 수 있겠으나 본 실험에 적용된 폐수가 석유화학 공장 폐수임을 고려할 경우에는 이러한 제거효율이 상당한 수치임을 가늠할 수 있게 하는 것으로 판단되었다.

그림 4.14와 4.17까지 나타난 결과를 종합하여 분석하면, Fenton 산화 전처리한 고정생물막 반응조의 유출수내 TCOD_{Cr}/TCOD_{Mn}는 2.23, SCOD_{Cr}/SCOD_{Mn}는 3.04로 나타났으며, 또한 Fenton 산화 전처리하지 않은 고정생물막 반응조 유출수내 TCOD_{Cr}/TCOD_{Mn}가 2.04이었고 SCOD_{Cr}/SCOD_{Mn}는 3.50으로 나타나 Fenton 산화처리를 한 경우가 산화 전처리를 하지 않은 경우보다 유출수중에 난분해성 물질이 적게 함유되어 있음을 알 수 있었고, Fenton 산화로 인해 유입수중의 난분해성 물질이 상당량 분해하기 쉬운 물질로 전환되어 미생물에 의해 더 쉽게 이용되었던

것으로 판단된다.

Park and Song²⁸⁾의 호기성 고정생물막 반응기를 이용한 염색폐수 처리에 관한 연구에서 유기물 부하율 0.625~5.53kg COD/m³day로 운전하였을 때 유출수의 경우 TCOD_{Cr}/TCOD_{Mn}가 2.67, SCOD_{Cr}/SCOD_{Mn}가 2.85로 나타나 Fenton 산화처리를 한 본 연구 결과에 비해 낮게 나타나 Fenton 산화처리가 난분해성 유기물질의 산화에 유효한 영향을 미치는 것을 알



수 있었다.

그림 4.18과 4.19은 운전기간 동안의 TSS와 VSS농도 변화를 나타낸 것이다. 먼저 TSS농도변화를 보면 유입수의 TSS농도가 18~46 mg/L이었을 때 산화 전처리한 고정생물막 반응조의 TSS농도는 10~54 mg/L로 평균 37.3 mg/L, 산화 전처리하지 않은 고정생물막 반응조의 TSS농도는 16~64 mg/L로 평균 33.5 mg/L로 산화 전처리한 고정생물막 반응조의 TSS가 산화 전처리하지 않은 고정생물막 반응조보다 약간 높게 나타났지만 대체적으로 유사한 양상을 보였다.

VSS농도는 유입수가 12~27 mg/L일 때 산화 전처리한 고정생물막 반응조는 4~16 mg/L, 산화전처리하지 않은 고정생물막 반응조는 4~26mg/L로 산화 전처리한 고정생물막 반응조가 산화 전처리하지 않은 고정생물막 반응조보다 6mg/L가 낮게 나타났다. VSS/TSS를 보면 산화 전처리한 고정생물막 반응조가 0.25였고 산화 전처리하지 않은 고정생물막 반응조가 0.46으로 산화 전처리한 고정생물막 반응조가 0.21이 낮았다. 이는 산화 전처리한 고정생물막 반응조의 경우 산화 후의 응집체로서 제거되지 않은 무기물이 반응조를 거쳐 유출수와 함께 배출되었기 때문인 것으로 판단된다.

3. 산화제 주입비율에 따른 제거효율 비교

그림 4.20은 경제적인 면을 고려하여 Fenton 산화 전처리 조건을 변화시켜감에 따라 고정생물막 반응기에 미치는 영향을 나타낸 것으로서 조건 (I)은 Fenton 산화 전처리를 하지 않은 경우, 조건 (II)은 H₂O₂, 100mg/L와 FeSO₄, 100 mg/L로 전처리한 경우, 조건 (III)은 H₂O₂, 200 mg/L와 FeSO₄, 100 mg/L로 전처리한 경우, 그리고 조건 (IV)는 H₂O₂, 200 mg/L와 FeSO₄, 200 mg/L로 전처리한 경우로 조건 (I)~(IV)의 변화로 약품주입량이 증가함에 따라 실제 고정생물막 반응기에 주입되는 폐수의 농도는 다르며, 각각의 Fenton 산화 전처리 조건에 따른 평균 유입 COD는 조건 (I)의 경우 44.7 mg/L, 조건 (II)의 경우 30.6 mg/L, 조건 (III)의 경우 28.4 mg/L 그리고 조건 (IV)의 경우는 29.1 mg/L로 공급하였다. 유기물용적 부하율 0.1 kg COD/m³/day, 체류시간 18.74 hrs로 반응기를 운전하였다. Fenton 산화 전처리 조건이 바뀌었을 때 일시적으로 COD값이 상승하고 3~4 환경관리인. 1996. 2

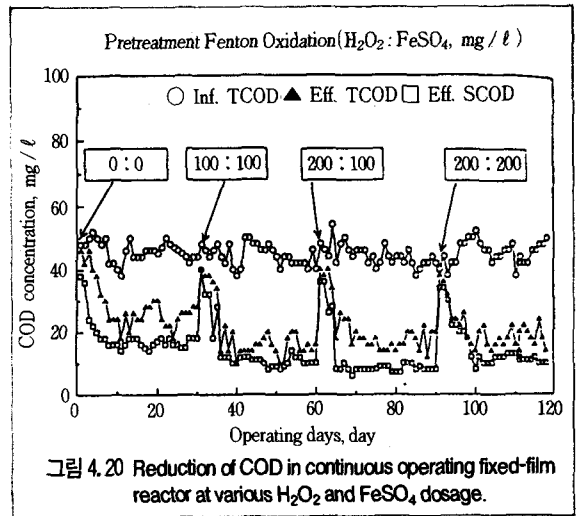


그림 4.20 Reduction of COD in continuous operating fixed-film reactor at various H₂O₂ and FeSO₄ dosage.

일이 지난 후에는 안정된 유출수질로 회복되었다. 여러 조건의 약품주입량 조건에서 실험한 결과 H₂O₂와 FeSO₄의 주입비 (2:1)의 경우가 다른 경우에 비해서 좋은 결과를 얻었다. 이는 H₂O₂가 많은 경우에는 미반응상태의 H₂O₂가 잔류하여 COD값을 올리고 분해과정에서 발생한 산소분자가 응집침전반응에 역효과를 발생시키며 FeSO₄가 과다한 경우에는 생성된 OH radical이 과잉의 FeSO₄를 산화하는데 소모되므로 Fenton 산화반응이 효율적으로 수행되지 못한다. 그 결과 유입되는 2차 유출수속에 난분해성 물질이 많이 잔류하고, 존재하는 난분해성 물질의 생분해도도 덜 높

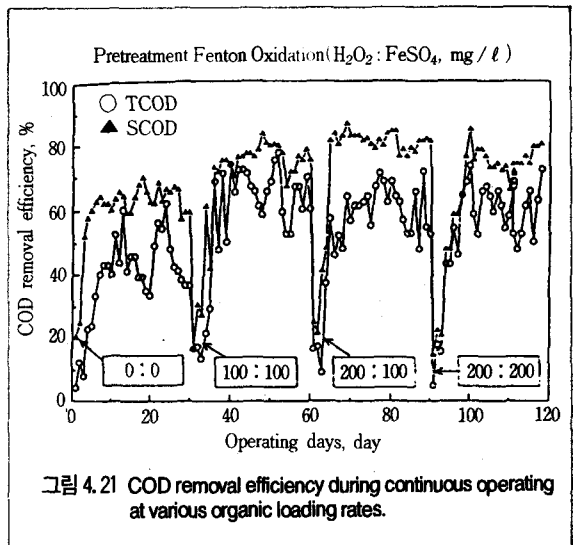


그림 4.21 COD removal efficiency during continuous operating at various organic loading rates.

는 것으로 판단하였다.

그림 4.21은 Fenton 산화 전처리를 하지 않은 유출수, H_2O_2 100 mg/L과 $FeSO_4$ 100 mg/L으로 산화전처리한 유출수, H_2O_2 200 mg/L과 $FeSO_4$ 100 mg/L으로 산화전처리한 유출수, H_2O_2 200 mg/L과 $FeSO_4$ 200 mg/L으로 산화처리한 유출수를 고정생물막 반응기에 연속처리시 평균 SCOD 제거율은 각각 62.2%, 74.6%, 82.7%, 78.1%로 나타나 가장 좋은 Fenton 산화 전처리 조건과 전처리하지 않은 유출수의 제거효율이 20.5%의 차이를 나타내었다. 이상 실험의 결과로 볼 때 H_2O_2 200 mg/L과 $FeSO_4$ 100mg/L의 전처리 조건이 가장 좋음을 알 수 있었다.

4. 활성슬러지공법과 고정생물막 공법의 비교

활성슬러지공법과 고정생물막 공법의 비교실험은 유기물 용적부하율 0.05~0.4kg COD/m³/day의 범위에서 운전하였다. 그림 4.22는 유기물 부하율에 따른 TCOD의 제거효율을 나타낸 것으로, 활성슬러지 공법의 경우 전부하 범위에서 23.9~55.8%, Fenton 산화 전처리한 고정생물막 공법의 경우 34.7~88%, Fenton 산화 전처리 하지 않은 경우의 고정생물막 공법은 26.0~62.5%를 나타내었다. 그리고 부하율이 증가함에 따라 제거효율은 완만히 감소하는 경향을 보여

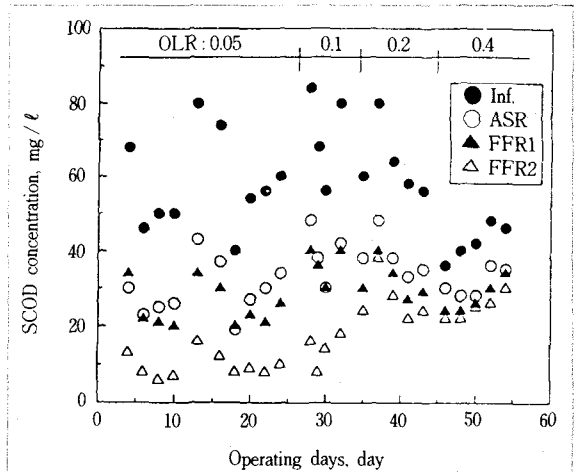


그림 4.23 Comparison of TCOD removal efficiency between aerobic fixed-film reactor(FFR) and activated sludge reactor(ASR) (FFR1 : without Fenton, FFR2 : with Fenton)

주었다. 특히, Fenton 산화 전처리한 고정생물막 반응기의 경우 유기물 부하율 0.2kg COD/m³/day(HRT : 9.37hr) 이상에서는 유기물 제거효율이 급격히 떨어짐을 보여주는 데 이는 체류시간이 짧아 유기물을 적절히 분해하기에 충분한 접촉시간을 만족시키지 못하는 것으로 생각되었다.

그림 4.23은 유기물 부하율을 0.05~0.4 kg COD/m³/day로 변화시켰을 때 유출수의 TCOD 변화를 비교한 것으로 Fenton 산화 전처리한 고정생물막의 경우 부하율 0.1 kg COD/m³/day까지는 평균 11.8 mg/L로 비교적 낮은 값을 나타내었으나 부하율 0.2 kg COD/m³/day 이상에서는 평균 26.3 mg/L을 나타내며 많이 증가하였다. 활성슬러지 공정과 Fenton 산화 전처리한 고정생물막 공법의 경우를 0.1 kgCOD/m³/day까지 비교하면 평균 21.3 mg/L의 차이를 보여 주는 데 이는 석유화학 폐수처리장의 2차 유출수를 Fenton 산화 전처리 하면 생분해도가 비교적 높아져 Biomass로 쉽게 생체합성되어 반응기 속에 있는 media에 부착되어 유출수속에 포함되어 유출되지 않는 반면에 활성슬러지 공법은 유출수속에 포함되어 배출된다. 또한, 고정생물막 공법은 media 표면에 붙은 미생물은 상당히 긴 슬러지일령 동안 미생물이 자산화(Endogenous Respiration)되어 활성슬러지에 비해 상대적으로 좋은 유출수질을 보여주었다.

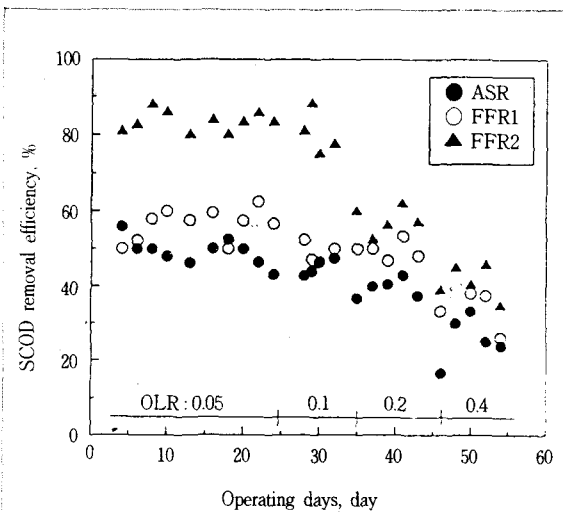


그림 4.22 Comparison of TCOD removal efficiency between aerobic fixed-film reactor(FFR) and activated sludge reactor(ASR) (FFR1 : without Fenton, FFR2 : with Fenton)

제5장 결론

1. 초기 COD 106~146 mg/L, H₂O₂ 주입량 50~1000 mg/L, 반응시간 30분에서 초기 주입 H₂O₂의 88.3~93.1%가 소비되어 본 실험폐수는 H₂O₂와 비교적 반응성이 좋은 것으로 나타났다. 또한 COD 제거효율은 실험범위의 COD농도에서 H₂O₂ 주입량 200 mg/L 이상에서는 거의 변화가 없었다.

2. 초기 COD 42~184 mg/L 범위에서, H₂O₂ 200 mg/L, FeSO₄ 100 mg/L 주입시 COD 제거효율이 가장 좋았으며, COD와 TOC의 제거효율은 각각 38.2~60.1%, 15.8~22.4%의 범위를 나타냈다.

3. Fenton 산화처리시 H₂O₂ 200 mg/L과 FeSO₄ 100 mg/L일 때 실험범위 유입수 조건에서 BOD/COD비가 초기평균 0.21에서 처리후 0.45로 생분해도를 높인 것으로 나타났다.

4. 유입수농도 106mg/L에서 Fenton 산화 전처리를 하지 않은 유출수, H₂O₂ 100 mg/L과 FeSO₄ 100 mg/L으로 산화처리한 유출수, H₂O₂ 200 mg/L과 FeSO₄ 100 mg/L으로 산화 처리한 유출수를 회분식 고정생물막 반응기에 주입하여 처리한 결과 체류시간 12시간 이내에 각각 초기 COD의 57.8%, 72.2%, 78.6%가 제거되어 H₂O₂ 200 mg/L과 FeSO₄ 100 mg/L으로 산화 처리한 경우가 가장 적절한 Fenton 산화 전처리 반응조건임을 알았다.

5. Fenton 산화 전처리를 하지 않은 유출수, H₂O₂ 100 mg/L과 FeSO₄ 100 mg/L으로 산화처리한 유출수, H₂O₂ 200 mg/L과 FeSO₄ 100 mg/L으로 산화처리한 유출수, H₂O₂ 200 mg/L과 FeSO₄ 200 mg/L으로 산화처리한 유출수를 고정생물막 반응기에 연속처리시 평균 SCOD 제거율은 각각 62.2%, 74.6%, 82.7%, 78.1%로 나타나 H₂O₂ 200 mg/L과 FeSO₄ 100 mg/L으로 산화처리한 조건이 가장 우수한 Fenton 산화처리 조건이었으며, Fenton 산화처리가 COD 제거효율에도 크게 기여함을 알았다.

6. Fenton 산화 전처리한 시료와 하지 않은 시료에 COD 70mg/L에 상당하는 합성폐수를 첨가하여 만든 유입수를 유기물 부하 0.1kg COD/m³·day로 운전한 결과 산화 전처리한 고정생물막 반응조의 경우 SCOD 제거효율이 48.0%~85.7%, Fenton 산화하지 않은 고정생물막 반응조는 20.8%~68.7%의 SCOD 제거 환경관리인. 1996. 2

효율을 나타내어 Fenton 산화 전처리한 고정생물막 반응조가 23.3% 더 높은 효율을 나타내어 연속처리 실험에서도 Fenton 산화처리를 실시하는 것이 더 효과적인 것으로 사료되었다.

7. COD_{Cr}과 COD_{Mn}의 비는 산화 전처리한 고정생물막 반응조의 경우 TCOD_{Cr}/TCOD_{Mn}이 2.23, SCOD_{Cr}/SCOD_{Mn}이 3.04로 나타났고, 산화전처리하지 않은 고정생물막 반응조의 경우는 TCOD_{Cr}/TCOD_{Mn}가 2.40, SCOD_{Cr}/SCOD_{Mn}가 3.50으로 나타나 Fenton산화처리가 난분해성 물질 분해에 효과적임을 알 수 있었다.

8. 안정적인 유출수질을 보이는 유기물 용적부하율 0.05~0.1 kg COD/m³·day의 범위에서 활성슬러지 공법의 경우 COD제거효율이 42.0~55.8%, Fenton 산화 전처리한 고정생물막 공법의 경우 COD제거효율이 74.8~88.0%, Fenton 산화 전처리하지 않은 경우의 고정생물막 공법은 46.0~62.5%의 COD 제거효율을 나타내어 Fenton 산화 전처리한 고정생물막 공법이 가장 좋은 공정임을 알았다.

제6장 기대효과 및 활용방안

제1절 기대효과

석유화학폐수의 2차 처리수를 Fenton 산화 전처리 후 고정생물막 공정에 도입하여 고차처리시 다음과 같은 기대효과를 얻을 수 있다.

가. 기술적 측면

최종처리수의 COD 40~180 mg/L에 기준하여 Fenton reagent를 이용하여 산화처리하였을 때 H₂O₂ 200 mg/L, FeSO₄ 100 mg/L 주입조건에서 BOD/COD비가 초기 평균 0.21에서 처리후 0.45로 생분해도를 높인 것으로 나타나 산화 전처리 후 고정생물막 공법을 적용하면 최종처리수의 냉각수로 재이용 가능한 수질인 10 mg/L 이하로 처리가능성을 기대할 수 있으며 1996년 부터 더욱 엄격해지는 배출허용기준에 맞는 방류수를 다른 부가적인 처리공정의 도입없이 얻을 수 있다.

나. 산업적 측면

현재 우리나라 대부분의 공업단지 지역은 충분한 용수를 확보하지 못하고 있으며 특히, 울산공업단지 지

역은 충분한 용수를 확보하지 못하고 있어 1994년에는 극심한 공업용수부족으로 공장증설이 불가능한 실정이었다. 따라서 공장에서 사용한 용수를 방출하지 않고 재이용하는 시스템의 도입을 절실히 요구하고 있다. 그러므로 본 연구의 결과는 이들 산업체에서 방류수를 재이용하기 위한 공법 도입시 경제성 있는 공법으로 이용가능할 것이며, 기초 설계자료로 이용될 수 있을 것으로 예상된다.

제 2 절 활용방안

본 연구결과를 학회에 발표함으로써 Fenton 산화 및 고정생물막 공법을 이용한 고차처리에 대한 연구지식을 보급하며, 폐수처리장 방류수를 냉각수 및 공정수로 재이용 가능한 공법으로 활용하고자 한다.

참고문헌

1. A.R. Bowers, P. Gaddipati, W.W. Eckenfelder, and R.M. Monsen(1989), "Treatment of toxic or refractory wastewaters with hydrogen peroxide", *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 21, pp 477-486.
2. Sims, A.F.E.(1981), "Phenol oxidation with hydrogen peroxide", *Effluent and Water Treatment Journal*, Vol. 21, No. 3, pp 109-112.
3. Wang Y.T.(1992), "Effect of chemical oxidation on anaerobic biodegradation of model phenolic compounds", *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 64, No. 3, pp 268-273.
4. Fenton H.J.H.(1984), "Oxidation of tartaric acid in presence of iron", *Jour. Chem. Soc., Brit*, Vol. 65, p 899.
5. Haber F. and Weiss J.(1934), "The catalytic decomposition of hydrogen peroxide by iron salts", *Proc. Roy. Soc., London*, A. 147, pp 332-351.
6. Barb, W.G., et al.(1951), "Reactions of ferrous and ferric Ions with hydrogen peroxide, part 1. The ferrous ion reaction.", *Jour. Chem. Soc.*, Vol. 47, pp 462-500.
7. David L. Sedlak and Anders W. Andersn(1991), "Oxidation of chlorobenzene with fenton's reagent.", *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 25, No. 4, pp 777-782.
8. Ikemizu K., Morooka S. and Kato Y.(1987). "Decomposition rate of ozone in water with ultra-violet radiation.", *J. Chem. Engng. Japan*, Vol. 20, pp 77-81.
9. Morook S., Kusakabe K., Ikemizu K. and Kato Y. (1988), "Degredation rate of polyoxy-ethylene in water by ozone under UV radiation." *Kagaku Ronbunshu* 14, pp 427-430.
10. D.F. Bishop, G.Stern, M. Fleischman, and L.S. Marshall(1968), "Hydrogen peroxide catalytic oxidation of refractory organics in municipal wastewaters.", *Ind. Eng. Chem., Process Design Devel.*, Vol. 7, pp 110-117.
11. J.J. Pignatello(1992), "Dark and photoassisted Fe³⁺-catalyzed degradation of chlorophenoxy herbicides by hydrogen peroxide." *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 26, No. 5, pp 944-951.
12. Kang J.W.(1989), "A kinetic model of the ozone-hydrogen peroxide process for treatment of groundwater", University of California, Los Angeles, Ph. D. Dissertation.
13. Dore, M.(1980), "Mechanism of the reaction of ozone with soluble aromatic pollutants", *Ozone : Science and Engineering*.
14. Stumm W. and Morgan J.J.(1981), "Aquatic Chemistry", John Wiley, New York.
15. G.W. Ayling and H.M. Castrantas(1988), "Waste treatment with hydrogen peroxide", FMCCorp., p 236.
16. 김덕찬, 유명진(1989), "환경화학", 동화기술.
17. Eisenhauer H.R.(1964), "Oxidation of Phenolic Wastes", *Jour. of WPCF*, Vol. 36, No. 9, pp 1117-1127.
18. Merz J.H., and Waters W.A.(1949), "Some oxidations involving the free hydroxyl radical.", *Jour. Chem. Soc.*, Vol. 93, pp. 2427-2433.
19. Walling C. and Kato S.(1971), "The oxidation of alcohols by fentons reagent. The effect of copper ion", *Jour. Am. Chem. Soc.*, Vol. 93, No. 17, pp. 4275-4281.