

자성 유체분리에 의한 오수의 고도처리

김용하[†] · 여평모 · 신수희 · 서근학 · 김행구* · 오창섭**

부경대학교 화학공학과

*포항산업과학연구원 용융환원프로젝트팀

**호서대학교 화학공학과

(2000년 2월 18일 접수, 2000년 8월 28일 채택)

Advanced Treatment of Sewage Using a Magnetic Fluid Separation

Yong-Ha Kim[†], Pyoung-Mo Yeo, Su-Hee Shin, Kuen-Hack Suh, Hang-Goo Kim* and Chang-Sup Oh**

Department of Chemical Engineering, Pukyong National University, Pusan 608-739, Korea

*Smelting Reduction Project Team, Research Institute of Industrial Science and Technology, Pohang 790-330, Korea

**Department of Chemical Engineering, Hoseo University, Asan 336-795, Korea

(Received 18 February 2000; accepted 28 August 2000)

요 약

오수 처리시 최종 침전조에서 침전되지 못한 채 방류수에 포함되어 배출되는 부유 고형물을 일반적인 폐수내 부유고형물과 동일하게 하나의 분체로 보는 관점에서 이들의 제거, 즉 오수의 고도처리에 폐수내 부유고형물의 자성 유체분리 기술을 적용해 보았다. 정화조의 방류수, 즉 2차 처리수에 존재하는 부유 고형물의 농도와 COD 및 탁도의 관계를 조사하고, 자성 유체분리 실험을 통해 오수내 오염성분의 제거에 대한 조업변수의 영향을 평가하였다. 오수내 TCOD, ICOD 그리고 탁도와 부유고형물의 농도와의 상호관계로부터 오수에 포함된 부유고형물을 고도처리 등을 통해 제거하게 되면 COD와 탁도의 감소를 가져와 수질을 향상시킬 수 있으며, 이때 제거효과는 TCOD, ICOD 그리고 탁도의 순서로 높아지는 것으로 나타났다. 본 실험조건에서 부유고형물의 농도는 20 g/m^3 , TCOD는 60 g/m^3 , 탁도는 16 NTU 이하로 유지할 수 있어 오수의 고도처리 기술로서 자성 유체분리의 적용 가능성이 확인되었다. 용해성 유기물질의 비율이 높은 오수의 경우 자성 유체분리 처리수내 TCOD의 추가적 감소를 위해서는 별도의 방법이 강구되어야 했다.

Abstract – A magnetic fluid separation is applied to the advanced treatment of sewage for removing the suspended solids which discharged as being entrained in the effluent from the final settling pond. In this study, the correlation with the concentration of suspended solids in the sewage and COD, with the solid concentration and turbidity, and the effects of operating parameters on the removal of the pollutant materials from the sewage were investigated. It is expected that COD and turbidity in sewage can be reduced by the removal of suspended solids in the sewage. And in result, turbidity was most strongly affected by the removal, and followed by ICOD and TCOD. In the present study, the concentration of suspended solids, TCOD and turbidity could be kept below 20 g/m^3 , 60 g/m^3 and 16 NTU, respectively. The feasibility, therefore, of the magnetic fluid separation as an attractive technology for the advanced treatment of sewage was verified. However a special treatment for the extra reduction of TCOD in the clarified sewage is necessary.

Key words: Sewage, Magnetic Fluid Separation, Advanced Treatment, Suspended Solids, COD, Turbidity

1. 서 론

생활수준의 향상에 따라 1인당 급수량과 배출량이 매년 약 4-5%씩 꾸준히 증가되고 있다. 1980년대 말 약 10,000천 m^3 /일이었던 생활하수의 발생량이 1990년 중반에는 약 15,000천 m^3 /일까지 증가되면서 산업폐수(약 2,600천 m^3 /일, 1997), 축산폐수(약 200천 m^3 /일, 1997) 등과 함께 강과 하천, 바다의 오염을 가속화시키는 원인물질의 제공원이 되

고 있다. 생활하수의 오염 농도는 타 폐수에 비해 낮은 편이나 배출량이 많아 수계에 미치는 오염부하가 가장 높은 편이다. 현재 설치되어 있는 하수종말 처리시설만으로는 배출되는 생활오수를 모두 처리할 수 없어 아파트 단지, 학교 등과 같은 중·소규모의 개별건축물별로 처리하는 것이 국내의 도시환경에서 적합하다는 의견이 제시되고 있다[1].

생활오수를 처리하는 방법인 단독 정화조는 거의 대부분의 오수가 처리되지 않고 수역에 방류되는 문제점이 있기 때문에 최근 생활오수와 수세식 화장실의 분뇨 및 세척수를 단독주택이나 각 단위별로 자체 처리하고자 하는 움직임의 하나로서 합병정화조에 대한 관심이 높아지고

[†]E-mail: yhkim@mail.pknu.ac.kr

있으며 설치 의무화가 진행되고 있다[2]. 이러한 합병처리 정화조에서 채택된 처리방식으로는 활성슬러지법의 장기간 포기방식과 표준활성슬러지 방식, 생물막법의 접촉포기 방식이 거의 대부분을 차지하고 있다. 보통 2차 처리수 중에는 미생물 플록을 주체로 하는 미세한 부유물질(suspended solids, SS)이 포함되어 있다. 이들 부유물질은 직접적인 BOD원이 될 뿐만 아니라, 부유물질에 다량으로 포함되어 있는 질화세균의 작용에 의해 BOD 측정시 질화가 촉진되어 처리수의 BOD를 높이는 원인이 되기도 한다[3]. 또한 원 오수 및 1, 2차 처리수 모두 부유고형물질이 COD와 인(P) 제거에 있어서 큰 영향을 미친다는 보고도 있다[4]. 부유물질에 의한 수질저하로 인해 오수정화 시설 및 합병정화조의 2차 처리수를 직접적으로 방류수 수질기준(부유물질: 20 g/m^3 , BOD: 20 g/m^3)까지 맞추기가 쉽지 않다. 그러나 환경규제치가 점차 강화되고 2000년 1월 1일부터는 배출 부과금을 납부하기 때문에 추가 처리시설 등으로 각 단위별로 배출수의 오염정도를 낮추는 것이 경제적 부담의 감소에도 일조를 할 것이다[5, 6].

오 · 폐수내 부유성 유기물질을 제거하는데 초점을 맞춘 고도처리 방식으로서는 급속여과법, 막분리법, 응집침전법 등이 있으나, 운전 및 유지관리 문제 때문에 대부분의 중 · 소규모 처리시설에서는 모래여과법을 이용하여 2차 처리수중의 부유물질을 제거함으로써 BOD, COD의 고도처리를 하기도 한다. 이러한 여과법은 침전법에 비해 제거효율은 높지만 생활오수의 경우에는 유입수 농도의 변화에 따라 압력 변동이 심하고, 여과매체의 교체 등으로 인해 운전비가 높아지는 문제점이 지적되고 있다.

여 등[7]은 부유고형물이 포함된 폐수 중에 자성 미분체를 투입하여 교반하면 부유 고형물과 자성 미분체간에 van der Waals 힘과 같은 응집력이 작용하여 부유 고형물의 표면에 다수의 자성 미분체가 부착된 자성 플럭이 형성되고 Fig. 1에서 보는 바와 같이 흐름관의 외벽에 설치한 자석쪽으로 이들을 이동시켜 포집 분리하는 방식으로 폐수내 부유고형물을 효율적으로 그리고 간단하게 제거 가능함을 밝힌 바 있다.

본 연구에서는 오수내 부유물질 역시 타 폐수내 부유 고형물과 동일하게 하나의 분체로 보는 관점에서 이와 같은 자성 유체분리 기술을 오수의 고도처리에 적용함에 있어서, 2차 처리수에 존재하는 부유 고형물의 농도와 COD 그리고 탁도와와 관계를 조사하고, 자성 유체분리에 의한 오수내 부유 고형물의 제거 가능성을 확인하고자 한다. 이어서

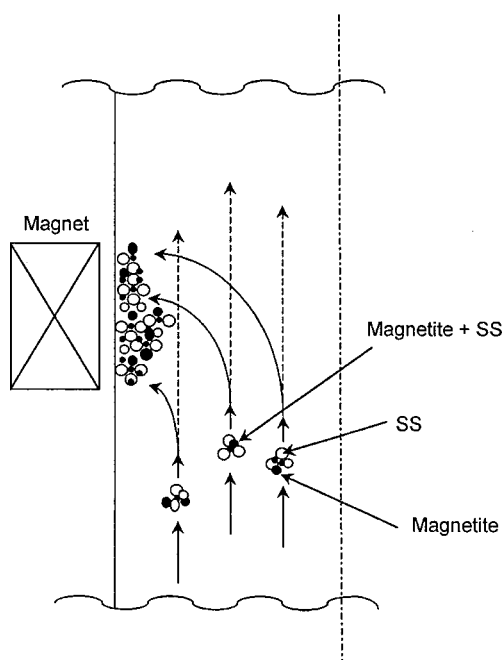


Fig. 1. Principles of magnetic fluid separation.

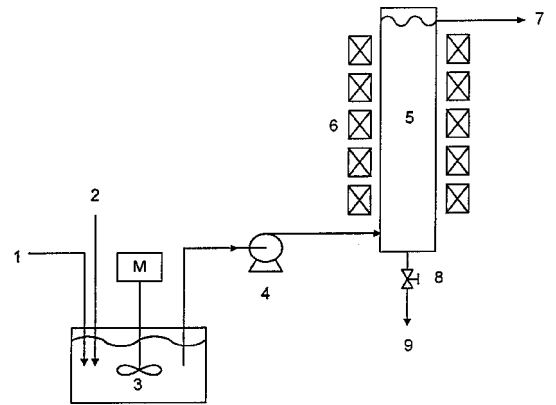


Fig. 2. Schematic diagram of experimental apparatus.

- | | |
|-------------------------------------|------------------------|
| 1. Magnetite | 6. Magnet set |
| 2. Sewage | 7. Clarified water |
| 3. Mixing tank | 8. Valve |
| 4. Pump | 9. Magnetite+SS sludge |
| 5. Magnetic fluid separation column | |

오수내 부유고형물의 제거 특성에 대한 조업변수의 영향을 실험적으로 평가하여 오수의 고도처리를 자성 유체분리 설비에 대한 적정 조업조건의 제시를 목적으로 한다.

2. 실험장치 및 방법

2-1. 실험장치

본 실험에 사용한 자성 유체분리 장치는 Fig. 2에서 보는 바와 같이 자성 유체분리탑, 오수와 자성미분체의 교반탱크, 혼합수(오수+자성미분체) 공급 펌프, 자석 세트 등으로 구성되어 있다. 자성 유체분리탑은 직경이 5 cm, 높이가 1 m인 아크릴관으로 제작되었다. 오수와 자성미분체의 혼합수는 교반 탱크로부터 펌프를 경유하여 자성 유체분리탑의 하부로 유입되어 상부로 흐르는 상향류식이다. 본 실험에서 사용한 자석은 가로 2.3 cm, 세로 4 cm, 두께 0.9 cm인 직육면체형이고 표면자력이 1,000 Gauss인 고강도 영구자석이며, 자석 세트는 자석 3개를 상기 자성 유체분리탑의 외벽 원주를 따라 120 도의 각도로 배치하여 구성하였다. 자석 세트는 축방향 약 0.15 m의 간격으로 5단이 설치되어 있으며 오수와 자성미분체의 혼합수는 이들을 단계적으로 통과하면서 정제되게 된다.

2-2. 실험방법

본 실험에 사용된 오수는 A 대학교내 접촉 산화법을 이용하는 오수 처리장의 최종침전 처리 후 배출수, 즉 2차 처리수로 맑은 날에 정상적으로 가동되고 있는 경우에만 채취하였다. 이와 같은 오수에 일정량의 자성 미분체를 투입하고 약 700 rpm의 속도로 5분 정도 교반시켜 준비된 혼합수는 peristaltic pump에 의해 자성 유체분리탑의 하부로 유입시켜 Fig. 1과 같이 상부로 흐르게 하였다. 공급 액체유속은 0.23-0.86 cm/s(혼합수 공급속도: 0.27-1.01 l/min)의 범위에서 조절하였다. 자성 미분체로는 평균 입경이 $3.2 \mu\text{m}$ 인 시약용 마그네타이트를 사용하였으며, 부유고형물에 대한 자성 미분체의 질량비는 0.5-2.1의 범위에서 조절하였다. 각 조건에서의 실험시간은 약 30분 정도로 하였고, 시료 채취는 약 10분 간격으로 2회로 하였다.

오수와 자성 유체분리탑을 통과한 처리수내 부유고형물의 농도는 ASTM D2540에 의해, 화학적 산소 요구량(COD)은 Open reflux method ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ method)에 의해, 탁도는 HACH 2100N Turbidimeter를 이용하여, 입도는 SHIMADZU SALD-2001을 이용하여 분석하였다.

Table 1. Characteristics of effluent of the final settling pond

Items	Value	
	Range	Average
SS(Suspended Solids), g/m ³	28-268	94
TCOD(Total Chemical Oxygen Demand), g/m ³	64-365	140
SCOD(Soluble Chemical Oxygen Demand), g/m ³	18-120	53
Turbidity, NTU	14-130	49

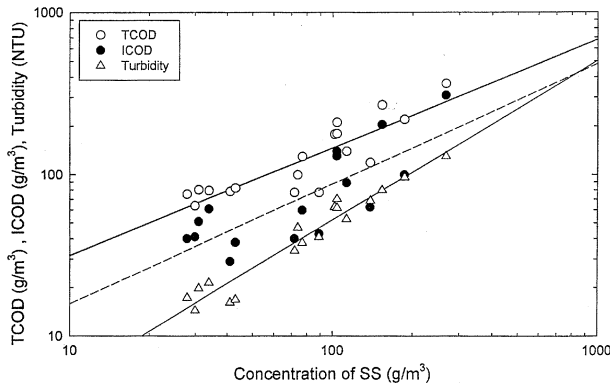


Fig. 3. TCOD, ICOD and turbidity vs. concentration of SS in effluent of final settling pond.

3. 결과 및 고찰

3-1. 오수의 특성

여러 차례에 걸쳐 채취한 오수의 물성은 Table 1과 같다. 오수의 수질 변화가 채취한 시기별로 큰 편이었는데 이는 학교특성상 생활패턴이 일정하지 않기 때문으로 보인다. 본 오수처리장에 있어서 오수의 평균 수질은 부유고형물의 농도가 94 g/m³, TCOD가 140 g/m³, ICOD가 87 g/m³, 탁도가 49 NTU 그리고 pH가 7.48로 방류수 수질 기준으로 고도처리가 요구되는 상황이다.

Fig. 3은 오수의 수질, 즉 TCOD, ICOD 그리고 탁도와 오수내 부유고형물의 농도와 상관관계를 나타낸 것이다. TCOD, ICOD 그리고 탁도의 어느 경우나 부유고형물의 농도 증가에 따라 비례적으로 증가하는, 즉 직선적인 관계를 보였다. 오수 중의 부유고형물의 농도에 대한 TCOD, ICOD 및 탁도의 비는 약 1.49, 0.92 그리고 0.52로, 이로써 TCOD가 부유고형물의 농도에 가장 밀접한 관계를 갖고 있음을 알 수 있다. 또한 ICOD/TCOD의 값은 0.62로 전체 유기물질 중에 입자상 유기물질이 약 62%이고, 나머지 약 38%가 용해성 유기물질로 존재하고 있다. 이와 같은 오수에 있어서 부유고형물의 농도 감소에 따라 TCOD, ICOD, 탁도는 각각 0.67, 0.74, 0.98의 기울기로 갖고 직선적으로 감소하는 경향을 보였다. 이는 정화조 등에서 최종 침전조 후 오수에 포함된 부유고형물을 고도처리 등을 통해 제거하게 되면 COD와 탁도의 감소를 가져와 방류수의 수질을 향상시킬 수 있음을 의미하며, 이때 제거효과는 TCOD, ICOD 그리고 탁도의 순서로 높아질 것으로 기대된다.

3-2. 자성 플럭의 형성

Fig. 4는 오수내 부유고형물과 자성 미분체로 사용된 마그네타이트의 입도분포를 나타낸 것이다. 평균입경 48 μm , 다수경 154 μm 의 오수내 부유고형물은 0.41-468 μm 의 비교적 넓은 입도분포를 가지고 있는데 여기서 쉽게 침전되지 않는, 즉 Stokes 영역에 해당되는 100 μm 이하의 부유고형물이 약 70%를 차지하고 있어 자연침강에 의한 오수 정

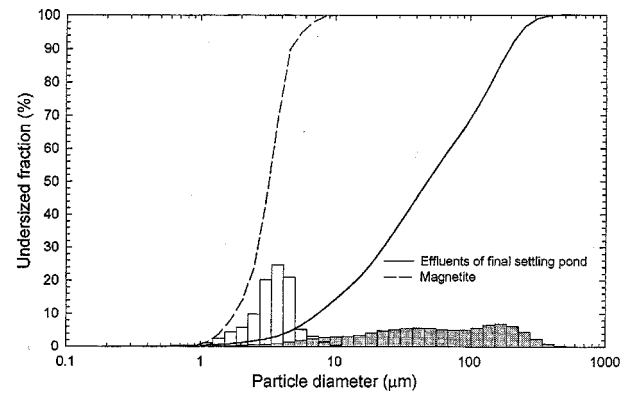


Fig. 4. Particle size distribution of suspended solids in the effluent of final settling pond and magnetite powders.

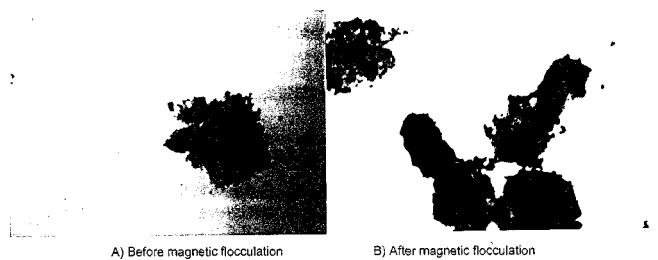


Fig. 5. Photos of floc before and after magnetic flocculation obtained from microscope ($\times 400$).

화가 현실적으로 매우 어려운 조건이다. 자성 미분체로써의 마그네타이트는 평균입경이 3.2 μm , 다수경은 3.4 μm 로 오수내 부유고형물과는 입도분포 및 평균입경에서 뚜렷한 차이를 보이고 있다. 오수에 마그네타이트를 투입하여 교반하였을 때 형성되는 자성 플럭은 Fig. 5에서 보는 바와 같이 큰 입자, 즉 부유고형물의 표면에 다수의 작은 입자, 즉 마그네타이트가 부착한 형태로 나타났다. 이와 같은 자성 플럭에 외부에서 자장을 주었을 경우에 표면에 부착된 마그네타이트가 자화되면서 전체적으로는 자성 플럭이 하나의 자화체가 되어 자석에 부착 가능해지는 것이다.

3-3. 마그네타이트/부유고형물의 질량비의 영향

Fig. 5에서 보는 바와 같이 본 연구의 자성 유체분리에서는 두 종류의 분체, 즉 오수내 부유고형물에 어떤 종류의 자성 미분체가 얼마나 그리고 어떻게 부착되어 있는가를 기본으로 하고 있다. 따라서 효과적으로 부유고형물을 제거하기 위해서는 부유고형물의 표면에 강자성 미분체가 많이, 그리고 강력하게 부착시켜 자화성이 높은 자성 플럭을 형성시켜야 한다.

자성 플럭의 형성에는 van der Waals 힘(F_{vw})과 같은 응집력이, 그리고 자성플럭의 포집에는 자성력(F_m)이 관계된다. 두 분체사이의 거리가 r 인 경우 이들 사이에 작용하는 van der Waals 힘은 식 (1)과 같이, 반지름이 a 인 입자에 가해지는 자성력은 식 (2)와 같이 정의된다.

$$F_{vw} = \alpha r^{-2} \quad (1)$$

$$F_m = \frac{2}{3} \pi a^3 \mu_0 \chi V (H^2) \quad (2)$$

따라서 일정한 자장, H 가 주었을 때 일정한 부피의 부유고형물의 표면에 부착되는 자성 미분체 양의 증가에 따라 두 분체사이의 거리가 줄어들어 응집력이 강해지고 또한 자성 플럭의 부피가 증가하게 되어 자성력이 커지면서 더 쉽게 자석에 포집되게 된다.

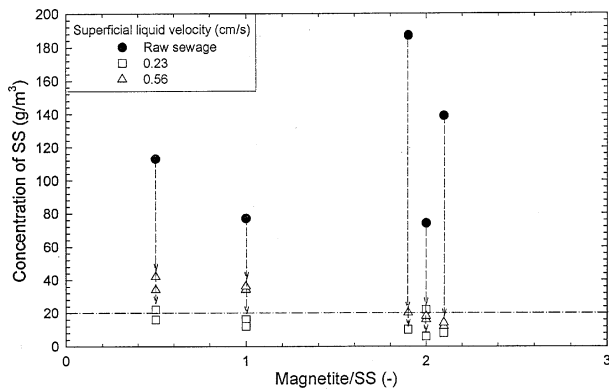


Fig. 6. Effect of magnetite/SS mass ratio on the changes in concentration of SS.

한편, 자성 미분체의 투입량 증가는 자성 미분체의 투입 비용은 물론 궁극적으로 자성 플럭 슬러지의 발생을 증가시키게 되어 이들의 탈수와 건조 그리고 회수 등 후처리 공정에서의 처리 부하가 커지게 되는 문제가 있다. 그러므로 부유고형물의 제거효율과 비용의 양 측면을 고려하여 오수내 부유고형물의 양을 기준하여 자성 미분체의 적정 투입비를 결정하는 것이 매우 중요하다.

이와 같은 관점에서 오수내 부유고형물의 농도, 즉 오수의 단위 부피에 포함되어 있는 부유고형물의 질량에 대해 투입되는 마그네타이트의 질량비에 따라 오수내 부유고형물의 농도, TCOD 그리고 탁도의 변화를 파악하는 것은 매우 중요하다.

Fig. 6은 마그네타이트/부유고형물의 질량비의 변화에 따른 부유고형물의 농도 변화를 나타낸 것이다. 이때 오수내 부유고형물의 농도는 72-187 g/m³이었으며 공탐 액체유속은 0.23 cm/s와 0.56 cm/s로 하였다. 공탐 액체유속이 0.23 cm/s 경우에는 본 실험에서 택한 마그네타이트/부유고형물의 질량비 범위에 관계없이 처리수내 부유고형물의 농도는 약 20 g/m³이하를 보이면서 방류수 기준인 20 g/m³를 만족하는 결과를 보였다. 공탐 액체유속이 0.56 cm/s로 높아진 경우, 마그네타이트/부유고형물의 질량비가 1 이하에서는 처리수내 부유고형물의 농도가 약 40 g/m³까지 증가하는 경향을 보였으나 마그네타이트/부유고형물의 질량비가 증가하면서 처리수내 부유고형물의 농도가 점차 낮아져 질량비가 약 2 정도 되었을 경우에는 방류수 기준인 20 g/m³를 만족함을 알 수 있다.

Fig. 7과 8은 각각 마그네타이트/부유고형물의 질량비의 변화에 따른 오수내 TCOD와 탁도의 변화를 나타낸 것이다. 이때 오수내 TCOD는 100-220 g/m³, 탁도는 48-96 NTU이었으며, 공탐 액체유속은 0.23 cm/s와 0.56 cm/s로 하였다. Fig. 3에서 예측한대로 오수내 부유고형물의 농

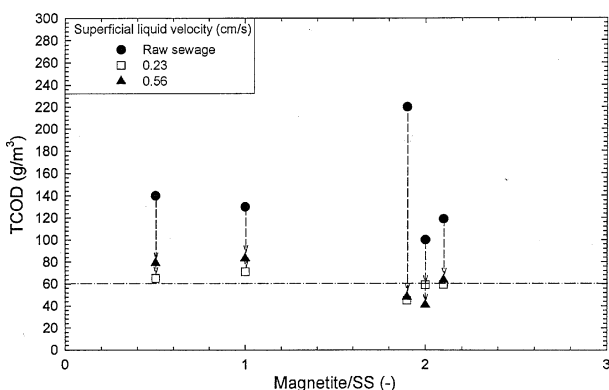


Fig. 7. Effect of magnetite/SS mass ratio on the changes in TCOD.

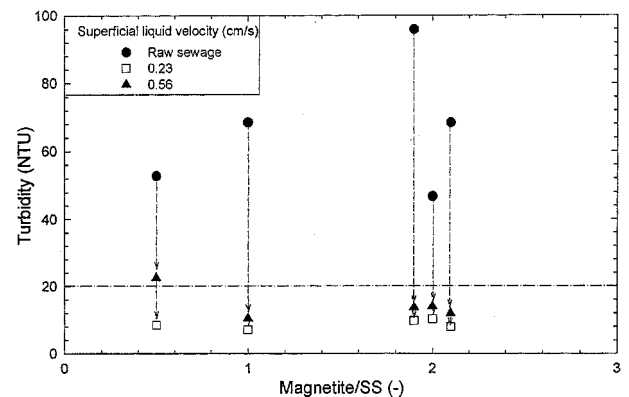


Fig. 8. Effect of magnetite/SS mass ratio on the changes in turbidity.

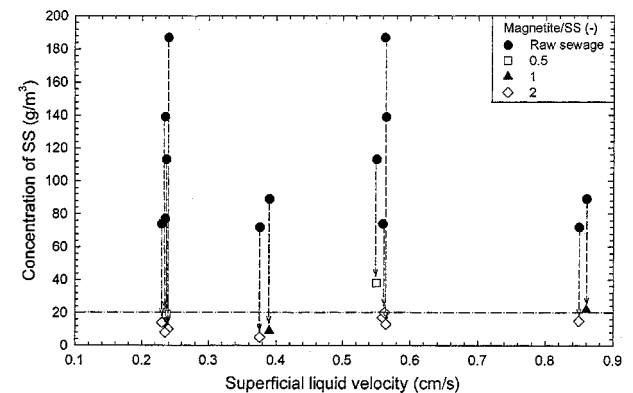


Fig. 9. Effect of superficial liquid velocity on the changes in concentration of SS.

도가 감소함에 따라 TCOD와 탁도가 모두 감소하였다. 마그네타이트/부유고형물의 질량비가 1 이하에서 TCOD는 60-80 g/m³, 탁도는 8-22 NTU인 반면, 마그네타이트/부유고형물의 질량비가 약 2까지 높아지면 TCOD는 40-60 g/m³, 탁도는 8-14 NTU까지 낮아졌다. 이 경우 다음 식으로 계산되는 제거효율은 TCOD의 경우가 평균 69%, 그리고 탁도는 평균 85%로 이는 오수내 부유고형물의 제거시 탁도의 제거효과가 TCOD의 경우보다 높음을 나타내는 것으로 이는 Fig. 3에서 예측한 결과와 일치하였다.

$$\text{Removal Efficiency(\%)} = \frac{C_i - C_o}{C_i} \times 100 \quad (3)$$

3.4. 공탐 액체유속의 영향

Fig. 9는 공탐 액체유속의 변화에 따른 오수내 부유고형물의 농도 변화를 나타낸 것으로 이때 부유고형물의 농도는 72-187 g/m³, 마그네타이트/부유고형물의 질량비는 0.5, 1, 2로 하였다. 본 실험에서 공탐 액체유속의 최대 값으로 택한 0.86 cm/s를 기준으로 높이가 100 cm인 자성 유체분리탑 내 수력학적 체류시간은 약 1.9분, 그리고 오수의 처리속도는 약 1.4 m³/일이다. 본 실험조건에서는 마그네타이트/부유고형물의 질량비가 0.5인 경우 공탐 액체유속이 0.24 cm/s에서 0.55 cm/s로 높아지면서 부유고형물의 농도가 약 20 g/m³에서 약 40 g/m³까지 증가되었지만 마그네타이트/부유고형물의 질량비가 1-2로 증가하면서 처리수내 부유고형물의 농도는 공탐 액체유속의 증가에 관계없이 12-20 g/m³에서 비교적 일정해짐을 알 수 있다. 본 실험에서 택한 공탐 액체유속 범위의 유체력의 영향하에서 오수내 부유 고형물의 자성 유체분리를 통한 제거에 요구되는 마그네타이트/부유고형물의 최소 질량비는 약 1로 이 값은 부유고형물의 농도가 1,500-4,200 g/m³인 실제 축산폐수나 295-670 g/

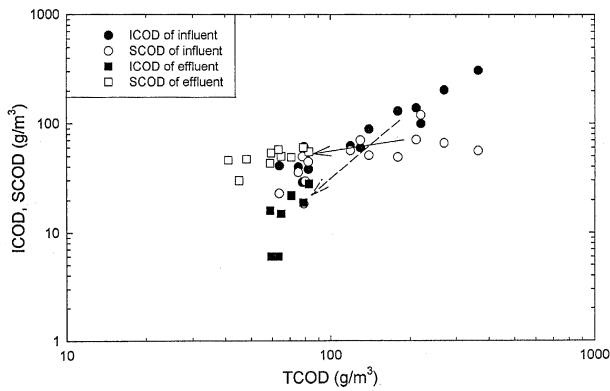


Fig. 10. ICOD and SCOD vs. TCOD in influent and effluent of magnetic fluid separator.

m³인 양어장 순환수의 자성 유체분리에서의 결과와도 일치된다[8, 9].

3.5. TCOD와 ICOD의 관계

오·폐수 중에 존재하는 유기물의 총량을 나타내는 총화학적산소요구량(Total Chemical Oxygen Demand, TCOD)은 여과액 중에 포함하는 용해성 유기물질 성분에 해당되는 것(Soluble Chemical Oxygen Demand, SCOD)과 불용성의 입상상 유기물질 성분에 해당되는 것(Insoluble Chemical Oxygen Demand, ICOD)으로 분류된다. 따라서 총화학적산소요구량, TCOD는 식 (4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$TCOD = SCOD + ICOD \quad (4)$$

Fig. 10은 오수의 자성 유체분리를 통한 처리 전과 후에 있어서 TCOD중 ICOD와 SCOD의 변화를 나타낸 것이다. 자성 유체분리를 통해 TCOD는 처리전의 70-350 g/m³에서 40-80 g/m³으로 낮아졌다. 이때 처리 후의 오수내 ICOD/TCOD의 비는 0.23으로 이를 처리전의 오수내 ICOD/TCOD의 비인 0.62와 비교하면 자성 유체분리를 통해 입상상의 불용성 유기물이 제거되면서 전체적으로 TCOD의 감소를 가져 왔음을 알 수 있다. 한편 처리 전과 후에 있어서 SCOD의 감소는 매우 미미한

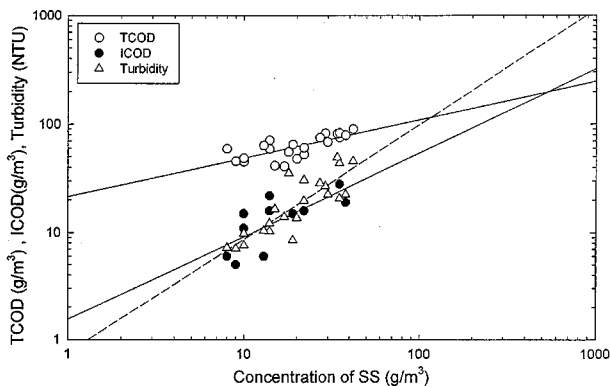


Fig. 11. TCOD, ICOD and turbidity vs. concentration of SS in clarified water.

데 이로 인해 처리후의 오수내 TCOD중 SCOD가 차지하는 비율이 처리 전에 비해 약 2배로 높아졌다.

3.6. 부유고형물의 농도와 TCOD, ICOD 및 탁도와 의 상관관계

오수내 부유고형물은 Fig. 3에서 보는 바와 같이 오수내 COD와 탁도에 큰 영향을 미치기 때문에 부유고형물의 농도 변화를 보고 오염물의 제거정도를 추정할 수 있다. Fig. 11은 자성 유체분리로 처리한 오수내 잔존하는 부유고형물의 농도와 TCOD, ICOD 및 탁도와 의 상관관계를 나타낸 것이다. 부유고형물의 농도에 대해 TCOD, ICOD, 탁도 모두 처리전의 오수에서와 마찬가지로 직선적인 관계를 보였다. 자성 유체분리를 통한 처리수내 부유고형물의 농도 감소에 따라 TCOD, ICOD, 탁도도 각각 0.35, 0.77, 1.05의 기울기를 갖고 감소하는 경향을 보였다. Table 2에서 보는 바와 같이 오수의 처리전과 처리후 모두 부유고형물의 농도 변화에 대해 탁도가 영향을 가장 많이 받고, ICOD, TCOD 순으로 영향을 약하게 받는 것으로 나타났다. 오수의 처리전과 처리후를 비교하면 부유고형물의 농도 변화에 대해 ICOD와 탁도의 감소 기울기는 처리 여부에 관계없이 거의 동일한 값을 보이는 반면 TCOD의 경우에는 처리전의 약 0.67에서 처리후에는 0.35로 크게 감소하였다. 이는 자성 유체분리에 의한 오수의 고도처리에서 공탁 액체유속의 감소나 마그네타이트/부유고형물의 질량비를 증가시켜 처리수내 부유고형물의 농도를 추가로 낮추어도 TCOD의 감소 효과는 크지 않음을 의미한다. 이와 같은 현상은 TCOD의 상당 부분이 SCOD로 존재하고 있어 부유고형물과 자성 미분체사이의 플럭 형성을 전제조건하는 자성 유체분리의 적용이 제한 받기 때문이다. 따라서 수질 환경오염의 향후 규제 강화에 대비하여 처리수내 TCOD의 값을 더욱 낮추기 위해서는 SCOD를 구성하고 있는 용해성 물질을 불용성으로 바꾸든지 응집, 막 분리, 전기분해 등 별도의 방법이 강구되어야 한다.

4. 결 론

오수의 미생물에 의한 산화처리시 침전조에서 침전되지 못한 채 방류수에 포함되어 배출되는 부유고형물을 일반적인 폐수내 부유고형물과 동일하게 하나의 분체로 보는 관점에서 이들의 제거, 즉 오수의 고도처리에 폐수내 부유고형물의 자성 유체분리 기술을 적용해 보았다. 정화조의 최종 방류수, 즉 2차 처리수에 잔존하는 부유고형물의 농도와 COD 및 탁도와 의 관계를 조사하고, 자성 유체분리에 의한 이들내 오염성분의 제거에 대한 조업변수의 영향을 평가한 본 연구에서 얻어진 결론은 다음과 같다.

(1) 오수내 TCOD, ICOD 그리고 탁도 모두 부유고형물의 농도와 밀접한 관계를 보였으며, 오수내 부유 고형물의 농도 감소에 따라 TCOD, ICOD, 탁도는 각각 0.67, 0.74, 0.98의 기울기로 갖고 직선적으로 감소하였다. 이는 최종 침전 후 오수에 포함된 부유고형물을 고도처리 등을 통해 제거하게 되면 COD와 탁도의 감소를 가져와 수질을 향상시킬 수 있으며, 이때 제거효과는 TCOD, ICOD 그리고 탁도의 순서로 높아지는 것으로 나타났다.

(2) 마그네타이트/부유고형물의 질량비가 1 이상인 경우, 본 실험의 공탁 액체유속의 조건에서 부유고형물의 농도는 20 g/m³, TCOD는

Table 2. Correlations between SS and TCOD, ICOD, turbidity in influent and effluent

Items	Influent		Effluent	
	Slope	R ²	Slope	R ²
TCOD(Total Chemical Oxygen Demand), g/m ³	0.67	0.75	0.35	0.53
ICOD(Insoluble Chemical Oxygen Demand), g/m ³	0.74	0.61	0.77	0.51
Turbidity, NTU	0.98	0.94	1.05	0.72

60 g/m³, 탁도는 16 NTU이하로 유지할 수 있어 오수의 고도처리 기술로써 자성 유체분리의 적용 가능성을 확인하였다.

(3) 오수의 자성 유체분리 처리수내 부유고형물의 농도를 추가로 낮추어도 TCOD의 감소 효과는 크지 않았는데 이는 처리수내 TCOD의 약 77%가 용해성 유기물질이기 때문이다. 따라서 수질 환경오염의 향후 규제 강화에 대비하여 용해성 유기물질의 처리에 대한 별도의 방법이 강구되어야 한다.

사용기호

a	: radii of particles [m]
C _i	: concentration of pollutants in the influent [g/m ³]
C _o	: concentration of pollutants in the effluent [g/m ³]
F _{vw}	: van der Waals force [N]
F _m	: magnetic force [N]
H	: magnitude of the magnetic field vector [A/m]
ICOD	: insoluble chemical oxygen demand [g/m ³]
r	: distance between two powders [m]
SCOD	: soluble chemical oxygen demand [g/m ³]
TCOD	: total chemical oxygen demand [g/m ³]
α	: van der Waals constant for attraction [N · m ²]

μ _o	: permeability of free space(4π × 10 ⁻⁷) [V s/Am]
χ	: volume magnetic susceptibility [-]

참고문헌

1. Park, Y. S., Ahn, K. H., Suh, J. H., Choi, Y. C., Choo, S. R. and Song, S. K.: *HWAHAK KONGHAK*, **35**, 8(1997).
2. Samhwan Tech. Research Inst.: *J. Environ. Hi-Technol.*, **10**(January, 1997).
3. Yamamoto, Y.: *J. Environ. Hi-Technol.*, **29**(January, 1997).
4. Tiehm, A., Herwig, V. and Neis, U.: *Wat. Sci. Tech.*, **39**, 99(1999)
5. Park, J. W. and Song, Y. H.: *J. Korean Soc. Environ. Engineers*, **20**, 305(1998).
6. The Ministry of Environment: The Water Quality Preservation Act (1998).
7. Yeo, P. M., Kim, Y. H., Suh, K. H. and Suh, I. K.: *Theories and Applications of Chemical Engineering*, **3**, 2933(1997).
8. Kim, Y. H., Suh, K. H. and Oh, C. S.: *HWAHAK KONGHAK*, **38**, 277 (2000).
9. Kim, Y. H., Yeo, P. M., Suh, K. H., Kim, H. G., Chung, U. C. and Kim, S. H.: *J. Korean Fish. Soc.*, **32**, 49(1999).