

## 슬러지 저감시 효소 전처리의 효율 향상 및 최적화 연구

김정래 · 심상준\*  
성균관대학교 화학공학과

**Optimal Conditions for Improving Enzyme Pretreatment Efficiency in Sludge Reduction Process. Kim, Jung Rea and Sang Jun Sim\***. Department of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea – In this study, we introduced enzymatic pretreatment method, together with ozone treatment for sludge digestion. We optimized the amount of enzyme and ozone, respectively for the successful sludge pretreatment. As a result, we found that as more enzyme is used, higher sludge hydrolysis efficiency was obtained. When we treated sludge by ozone ranging from 0.01 g O<sub>3</sub>/g SS to 0.04 g O<sub>3</sub>/g SS without enzyme treatment, 0.04 g O<sub>3</sub>/g SS showed the highest increase of SCOD. Meanwhile, when protease was used together with the same ozone dosage ranges, 0.03 g O<sub>3</sub>/g SS ozonation resulted in the highest increase of SCOD. The sludge pretreatment was optimized by controlling the amount of enzyme and ozone.

**Key words:** Sludge, pretreatment, enzyme, ozone, optimization

전 세계적으로 하수처리공법으로 가장 널리 사용되는 방법은 활성슬러지 공법이지만 이로 인해 발생하는 여러 문제들 중에서 가장 고려해야 될 문제점은 다량의 슬러지가 발생된다는 점이다. 또한 하수도 보급률의 증가에 따른 하수 시설의 대규모화로 인해 하수슬러지의 발생량은 매년 지속적으로 증가하고 있다[5, 8].

이러한 슬러지 발생의 문제점을 해결하기 위한 방안으로 슬러지의 전처리가 그 대안으로 제시되고 있다. 슬러지 전처리는 소화과정에 앞서 2차 슬러지내의 살아있는 미생물 또는 유기물을 분해하여 소화조 내의 미생물들이 소화시키기 좋은 상태로 유지 시켜서 유기물의 처리 효율을 향상시키는 것이라 할 수 있다[1, 10, 14]. 이는 다시 말해 미생물들의 대사과정, 즉 미생물 소화 과정시 먹이가 되는 유기원들 중에서 큰 입자의 단백질, 탄수화물, 지방 등의 유기원들을 작은 크기의 입자로 바꾸어주는 과정이다[3, 4, 7]. 슬러지의 전처리방법들에는 초음파나 ballmill, homogenizers 처리와 같은 기계적 처리[11], 전자빔처리, 오존[13], 산, 알칼리와 같은 화학적 물질에 의한 화학적 처리, 높은 열을 이용한 열처리[2], 동결, 용해 처리, 효소나 미생물을 이용한 생물학적 처리 등이 있다[10]. 본 연구에서는 저렴하면서도 다 른 전처리 과정에 비해 2차적 오염의 위험이 없는 효소를 이용한 생물학적 전처리와 오존을 이용한 전처리, 두가지 전처리를 함께 이용한 슬러지의 전처리를 다루었다. 효소 자체만으로는 미생물의 세포벽을 분해하기 힘들기 때문에[6], 오존처리를 함께 사용하여 세포벽을 파괴함으로써 효소의

가수분해를 용이하게 하였다. 효소에 의한 전처리는 분자량이 큰 유기물을 작은 분자로 가수분해하여 슬러지내의 가용화를 높이는 것으로써, 가용화율이 높을수록 소화조 내에서의 미생물에 의한 소화율이 높아져서 슬러지가 많이 저감될 뿐 아니라[12], 침전율이 향상되어 슬러지 탈수력도 함께 향상된다고 보고되고 있다[9, 12]. 본 연구에서는 전처리 효율이 높을수록 슬러지의 저감율도 높다는 사실을 바탕으로 오존과 효소의 전처리에 있어서 전처리의 효율을 향상시키고 더 나아가 전처리의 최적화를 달성하여 슬러지의 저감에 용이한 방안을 모색하기 위하여 오존의 양과 효소의 양에 따른 전처리의 효율을 비교하였다.

### 재료 및 방법

#### 슬러지

본 실험에 사용된 샘플용 슬러지는 Y시 하수 처리장에서 채취한 호기성 슬러지로서, 실험에 사용되기 전까지 4°C 이하의 냉장고에 보관하여 사용하였다.

#### 효소의 종류 및 특성

슬러지의 전처리 공정에 사용한 효소는 Novozyme사 (Novozymes North America, Inc.)에서 구입한 4가지의 산업용 효소이며, 주로 세제공장 및 주류공장에서 이용되는 효소이다. 4가지 효소의 명칭은 protease(ALCALASE 2.5),  $\alpha$ -amylase (AQUAZYM 240), glucosidase(DENIMAX 991), lipase (LIPOLASE 100)이다. 각각의 효소에 대한 생산균주, 최적 온도, pH, 활성도 등의 특성을 나타내었다(Table 1).

각 실험시 효소의 투입량은 슬러지의 일반적 성상의 비율이 단백질, 당, 지방이 각각 5:3:2 가량이라는 점을 참고로

\*Corresponding author  
Tel: 82-31-290-7341, Fax: 82-31-290-7272  
E-mail: simsj@skku.edu

**Table 1. Characteristics of enzymes.**

Enzyme	Product strains	Optimal temperature	Optimal pH	Enzyme activity
ALCALASE 2.5 (protease)	<i>Bacillus licheniformis</i>	55-70°C	6.5-7.5	2.5 AU/g
AQUAZYM 240 ( $\alpha$ -amylase)	<i>Bacillus microorganism</i>	45-70°C	5-7	15 KNU/g
DENIMAX 991 (glucosidase)	<i>Humicola</i>	50-55°C	5.5-6.5	1100 DAU/g
LIPOLASE 100 (lipase)	<i>Thermomyces lanuginosus</i>	55-60°C	5.5-7	100 KLU/g

AU: The activity is determined relative to an Alcalase standard. The result is given in the same units as for the standard, which are designated; AU(A) - Anson Unit (Alcalase).

KNU: 1 KNU (Kilo Novo Unit) is the amount of enzyme which degrades 4870 mg starch dry matter, Merck soluble amylum, per hour under standard conditions.

ACU: Endo-glucanase activity (cellulase) in ACU is measured relative to a Novozyme A/S enzyme standard.

KLU: Lipase Unit in Gram. 1 LU is the amount of enzymes which releases 1  $\mu$ g titrate-able butyric acid per minute under the given standard conditions. (1 KLU = 1000 LU)

하여 같은 비율로 투입하였다.

**오존을 이용한 전처리**

효소 전처리 전에 오존을 이용한 전처리에서는 Y시 하수 처리장에서 채취한 슬러지 중 7L를 취하여 오존 발생기 (Ozonature-1400K2GSN, 50 g O<sub>3</sub>/m<sup>3</sup>, 80%, 5 L/min)에 주입하고, 단위 고형물당 0.01 g의 오존(g O<sub>3</sub>/g SS)에서 단위 고형물당 0.04 g의 오존(g O<sub>3</sub>/g SS)으로 각각의 오존량에 대하여 처리하였다.

**오존 전처리 유,무에 따른 효소의 슬러지 가수분해**

오존 전처리의 필요성을 파악하기 위하여 오존 전처리를 하지 않은 슬러지와 오존 전처리를 한 슬러지에 대한 효소의 전처리 실험을 시행하였다. 오존 전처리를 하지 않은 슬러지의 실험시에는 500 mL 비이커 3개에 하수처리장에서 채취한 원슬러지 300 mL를 각각 분주하고 첫번째 비이커에는  $\alpha$ -amylase와 glucosidase를 각각 150  $\mu$ L씩, 두번째 비이커에는 protease 200  $\mu$ L, 세번째 비이커에는 복합효소( $\alpha$ -amylase, glucosidase, protease, lipase)를 150  $\mu$ L, 150  $\mu$ L, 200  $\mu$ L, 100  $\mu$ L씩 각각 넣고 온도 50-60°C, 150 rpm에서 효소가수분해 반응을 실시하였다. 각 효소 1  $\mu$ L안에 들어 있는 효소의 활성도는 Table 1을 근거로 protease의 경우  $2.5 \times 10^{-9}$  AU/ $\mu$ L,  $\alpha$ -amylase의 경우는  $15 \times 10^{-9}$  KNU/ $\mu$ L, glucosidase는  $11 \times 10^{-7}$  DAU/ $\mu$ L, lipase는  $10 \times 10^{-8}$  KLU/ $\mu$ L이다. 오존 전처리를 한 후의 효소 전처리 실험에서는 오존량 0.02 g O<sub>3</sub>/g SS로서 원슬러지에 대한 오존처리를 시행하고 500 mL 비이커 3개에 오존 전처리한 슬러지 300 mL씩을 각각 분주하였다. 오존 전처리를 하지 않은 경우의 효소가수분해 반응과 비교하기 위하여 같은 양의 효소를 넣고 효소반응의 최적온도인 50-60°C, 150 rpm에서 2시간 동안 효소가수분해 반응을 시켰다.

효소처리에 앞서, 실험에 사용된 슬러지를 효소의 공통 최적조건인 pH 6-7로 조절하기 위하여 2 N KOH와 1 N HCl

용액을 사용하였다. 열 자체에 의한 유기물의 분해를 고려하기 위하여, 효소를 넣지 않은 경우를 대조군으로 실험하여 열분해에 의한 전처리 효율을 고려하였다.

**효소의 양에 따른 효소의 슬러지 가수분해효과**

효소 전처리 효율 향상을 위한 요건 중 효소의 양이 효소의 가수분해효율에 미치는 영향에 대한 연구를 수행하였다. 이는 protease,  $\alpha$ -amylase와 glucosidase, 모든 효소를 사용한 복합효소 등의 각각의 경우에 대하여 전처리에 사용하는 효소의 양을 달리하여 실험하였다. 하수처리장에서 채취한 원슬러지 중 7L를 오존 처리장치를 통하여 0.02-0.03 g O<sub>3</sub>/g SS로 전처리를 하였다. 500 mL 비이커 10개에 오존 전처리한 슬러지 중 300 mL씩을 10개의 비이커에 각각 분주하고, 하나의 비이커에는 열분해에 의한 전처리 효율을 고려하기 위하여 효소를 넣지 않았다. 가장 적은 양의 효소로 처리하는 경우의 실험을 위하여 세 개의 비이커 중 첫번째 비이커에는  $\alpha$ -amylase와 glucosidase를 각각 10  $\mu$ L씩, 두번째 비이커에는 protease 15  $\mu$ L, 세번째 비이커에는 복합효소로서  $\alpha$ -amylase, glucosidase, protease, lipase를 각각 10  $\mu$ L, 10  $\mu$ L, 15  $\mu$ L, 5  $\mu$ L씩 투입하였다.

나머지 비이커 6개에는 가장 적은 양으로 처리한 것 보다는 많은 양으로 처리한 경우와 가장 많은 양으로 처리한 경우로 나누어 실험하였다. 각 실험의 경우에 3개의 비이커를 사용하였다. 중간 양의 실험에서는 3개의 비이커에 protease 150  $\mu$ L,  $\alpha$ -amylase와 glucosidase를 각각 100  $\mu$ L, 100  $\mu$ L씩,  $\alpha$ -amylase, glucosidase, protease, lipase를 100  $\mu$ L, 100  $\mu$ L, 150  $\mu$ L, 50  $\mu$ L씩 넣었다. 가장 많은 양으로 처리한 실험에서는 나머지 3개의 비이커에도 같은 방식으로  $\alpha$ -amylase, glucosidase, protease, lipase에 대하여 1000  $\mu$ L, 1000  $\mu$ L, 1500  $\mu$ L, 500  $\mu$ L씩 투입하였다. 효소반응에서 효소 최적 조건을 맞추는 것이 중요하므로 효소처리에 앞서, 실험에 사용된 슬러지를 효소의 공통 최적조건인 pH 6-7로 조절하기 위하여 2 N KOH와 1 N HCl용액을 사용하였다.

온도 50-60°C, 150 rpm에서 2시간 동안 반응을 시켰다.

#### 오존의 양에 따른 효소의 슬러지 가수분해효과

오존의 양에 따른 효소의 전처리 효율에 미치는 영향을 알아보기 위한 연구를 수행하였다. 하수처리장에서 채취한 원슬러지 중 7L씩을 다른 양의 오존을 투여하여 오존 전처리를 시행하였다. 오존 투여량은 0.01 g O<sub>3</sub>/g SS, 0.02 g O<sub>3</sub>/g SS, 0.03 g O<sub>3</sub>/g SS, 0.04 g O<sub>3</sub>/g SS로서 4번에 걸쳐 오존 전처리를 하였다. 4가지 경우의 다른 양의 오존을 이용하여 슬러지를 전처리 한 후, 같은 양의 효소를 투여하여 효소가수분해반응을 수행하였다. 실험에 사용한 효소로는 다른 효소 보다는 효소 전처리 효과가 월등히 좋은 protease를 사용하여 오존의 양에 따른 효소의 가수분해효율을 비교, 확인하였다.

효소 반응시 효소 최적 조건을 맞추는 것이 중요하므로 효소처리 이전에, 오존 전처리한 슬러지를 효소의 최적조건인 pH 6-7로 조절하기 위하여 2 N KOH와 1 N HCl 용액을 사용하여 최적 pH를 맞추었다. 반응 조건은 온도 50-60°C, 150 rpm에서 2시간 동안 반응을 시켰다.

#### 분석법

슬러지의 전처리 효과 확인을 위한 인자로 TCOD(Total Chemical Oxygen Demand), SCOD(Soluble Chemical Oxygen Demand), TSS(Total Suspended Solids), VSS(Volatile Suspended Solids) 등이 있으며 이 중 본 연구에서는 TCOD와 SCOD를 공정 시험법(Standard Methods)에 따라서 측정을 하였다. 둘다 COD를 측정하는 방법으로 TCOD는 반응기내의 슬러지를 2 mL 채취하여 10-15배 희석하여 희석용액 중 2 mL를 높은 범위의 COD vial에 넣어 측정을 하고 SCOD은 채취한 슬러지를 0.45 µm의 filter에 여과 시킨 후 여과된 용액중 2 mL를 채취하고 이를 3-4배 희석한 후 희석용액 중 2 mL를 높은 범위의 COD vial에 넣어 측정하였다.

### 결과 및 고찰

#### 오존 전처리 유,무에 따른 효소의 슬러지 가수분해 효율 비교 결과

효소의 전처리 공정시 오존처리 후의 효소 전처리 반응에 앞서 오존처리 없이 효소 자체적으로 얼마만큼의 가수분해 효과를 얻을 수 있는지와 오존 전처리의 필요성을 검증하기 위하여 오존 전처리를 거친 슬러지에 대한 효소 전처리 실험과 오존 전처리를 거치지 않고 하수처리장에서 채취한 원슬러지를 효소로서 전처리하는 실험, 두 가지의 경우를 비교, 실험하였다.

우선 오존 전처리를 하지 않은 슬러지에 대한 효소처리에서는 원슬러지에 대하여 carbohydrase, protease, 복합효소로서 효소의 가수분해 효과를 알아보았다(Fig. 1). 효소 투여량은 carbohydrase, protease 대하여 150 µL, 300 µL, 복합

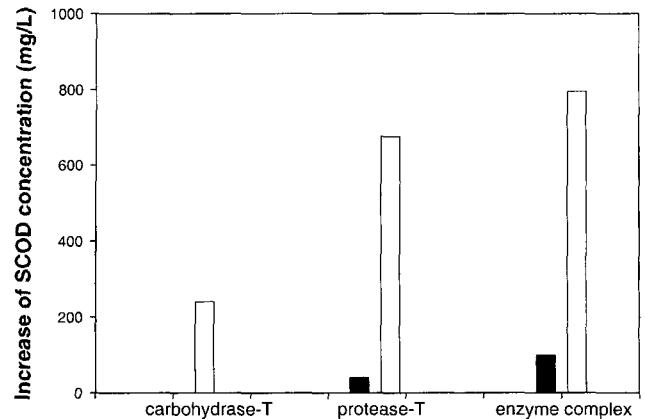


Fig. 1. The increase of SCOD by enzyme pretreatment on non-ozone treated sludge and ozone treated sludge. (■ non-ozone treated sludge, □ ozone treated sludge)

효소의 경우에는  $\alpha$ -amylase, glucosidase, protease, lipase를 각각 150 µL, 150 µL, 300 µL, 50 µL씩 투여하였다. Fig. 1에서 보면 오존 전처리를 거치지 않은 슬러지에 대한 효소의 전처리 효율이 저조함을 알 수 있었다. Carbohydrase를 이용한 슬러지의 효소가수분해는 되지 않았고, protease에 의한 슬러지의 가수분해는 온도에 의한 증가량 50 mg/L를 고려하면 140 mg/L에서 235 mg/L로 40-50 mg/L의 SCOD가 증가하였으며, 복합효소에 의한 SCOD은 140 mg/L에서 290 mg/L로 100 mg/L가 증가하였다. 반면 오존 전처리를 거친 슬러지에 대한 효소의 가수분해 효율은 오존 전처리를 거치지 않은 슬러지에 대한 효소의 가수분해 효율에 비하여 10배 이상의 효과가 있음을 알 수 있었다. 오존 전처리를 한 슬러지에 대한 효소의 가수분해효율의 결과를 보면(Fig. 1), 오존 전처리를 하지 않은 슬러지에 대한 carbohydrase의 효소처리에서는 슬러지가 가수분해 되지 않아 SCOD가 증가하지 않았다. 그러나 오존 전처리한 슬러지의 경우 열처리에 의한 SCOD 증가분 120 mg/L를 고려하면 carbohydrase에 의한 슬러지 가수분해는 오존 전처리하지 않는 경우에는 SCOD가 1950 mg/L에서 오존 전처리에 의해 2305 mg/L로 235 mg/L 증가하였다. Protease의 경우는 2367 mg/L에서 3162 mg/L으로 675 mg/L, 복합효소를 사용한 경우는 2634 mg/L에서 3549 mg/L로 SCOD가 795 mg/L 증가하였다. Fig. 1의 결과를 바탕으로 하여 오존 전처리를 거친 슬러지를 효소로서 가수분해할 때 더 좋은 효과가 있음을 알 수 있었다. 이는 효소 전처리 이전에 오존 전처리를 실시하는 것이 효소 전처리에 효과적임을 나타내준다.

다양한 효소의 양에 따른 효소의 슬러지 가수분해의 효과 효소의 가수분해 효율 향상과 효소를 이용한 슬러지 전처리 공정의 최적화를 위한 방안으로서 다양한 효소의 양에 따른 효소의 가수분해 효율을 알아보았다. 이와 더불어 많은

양의 효소를 투여하였을 경우 다량의 효소 투여에 따른 효소와 효소간의, 또는 효소와 기질간의 반응에 있어서 저해 효과가 발생하는지를 알아보았다. 같은 양의 오존으로 전처리한 슬러지를 각기 다른 종류의 효소로 처리하고, 같은 효소를 이용한 실험인 경우에는 효소의 양을 달리 하여 효소 전처리를 실시하였고, 효소에 의한 SCOD의 증가를 알아보았다(Fig. 2, Table 2).

Fig. 2에서 효소의 종류에 따른 SCOD의 변화를 살펴보면 protease가 함유된 경우의 실험에서 높은 처리효율이 있음을 알 수 있다. 이는 protease가 효소 처리에 있어서 가장 큰 영향을 줄 수 나타내어 준다. 또한, Fig. 2에서 보는바와 같이 효소의 종류에 관계없이 효소의 양이 증가할수록 효소의 가수분해효율이 증가함을 알 수 있었다. 그 증가량을 보면, carbohydrase로서 처리한 효소 반응에서는 효소의 양이 10 µL, 100 µL, 1000 µL일 때 각각에 대하여 2109 mg/L에서 2220 mg/L으로 111 mg/L, 2186 mg/L에서 2445 mg/L로 259 mg/L, 2976 mg/L에서 3679 mg/L로 703 mg/L의 SCOD 증가를 보였다. Protease에 의한 효소 처리에서는 효소의 양이 15 µL, 150 µL, 1500 µL일 때 각각에 대한 SCOD가 2205 mg/L에서 2425 mg/L로 220 mg/L, 2389 mg/L에서 2932 mg/L로 543 mg/L, 3405 mg/L에서 6766 mg/L로 3361 mg/L까지 증가하였다. 마지막으로 복합효소인 경우에는 protease, carbohydrase, lipase에 대한 효소의 양이 15 µL, 10 µL, 5 µL인 경우에 2548 mg/L에서 2829 mg/L로 281 mg/L, 150 µL, 100 µL, 50 µL인 경우 2955 mg/L에서 4210 mg/L으로 1255 mg/L, 1500 µL, 1000 µL, 500 µL인 경우에서 4264 mg/L에서 7889 mg/L로 3625 mg/L의 SCOD

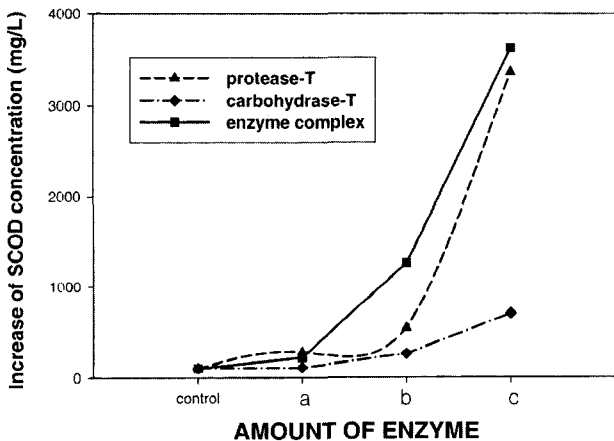


Fig. 2. The increase of SCOD depending on different concentration of enzyme.

Protease: a, 15 µL; b, 150 µL; c, 1500 µL.

Carbohydrase: a, 10 µL; b, 100 µL; c, 1000 µL.

Enzyme complex

a, protease 15 µL + carbohydrase 10 µL + lipase 5 µL.

b, protease 150 µL + carbohydrase 100 µL + lipase 50 µL.

c, protease 1500 µL + carbohydrase 1000 µL + lipase 500 µL.

증가가 보였다. 위 실험과 동시에 열에 의한 SCOD 증가량을 고려하기 위하여 효소를 넣지 않은 경우도 대조군으로 함께 실험하였고, 실험결과 열에 의한 SCOD 증가량이 105 mg/L이었다. 이를 바탕으로 실제적으로 효소에 의하여 증가한 SCOD를 나타내었다(Table 2). Carbohydrase 10, 100, 1000 µL에 의한 SCOD증가량은 각각 6, 154, 598 mg/L이며 protease 15, 150, 1500 µL인 경우에는 115, 438, 3256 mg/L, 복합효소 사용시 protease 15, 150, 1500 µL 사용을 기준으로 176, 1150, 3520 mg/L의 증가량을 보였다. 오존이나 알칼리 전처리와 같은 화학적, 물리적 전처리는 양에 따른 전처리 효과에 있어서 적정수준까지 SCOD을 향상시키며, 그 이상의 전처리 효과를 올리기 힘든 반면[13], 효소 전처리시에는 효소양에 따라 SCOD가 비례하면서 증가하는 경향이 있음을 확인할 수 있었다. 또한 효소 전처리 반응에 있어서 다량의 효소에 의한 효소와 효소 사이의 저해작용도 미흡함을 알게 되었다. 효소의 종류에 따른 전처리 효과에서 여러 효소 가운데 protease에 의한 전처리 효과가 가장 좋은 것으로 나타났고 이를 통하여 일반적인 하수슬러지의 성상에 있어서 단백질이 차지하는 비율이 50% 이상임을 나타낸 보고가 타당성이 있음을 시사해준다[9].

오존의 양에 따른 효소의 슬러지 가수분해의 효과

효소의 가수분해 효율 향상과 효소를 이용한 슬러지 전처리 공정의 최적화를 위한 방안 중 두번째로 다양한 오존의 양에 따른 효소의 전처리 효과를 알아보았다. 실험에 사용된 오존의 양은 0.01 g O<sub>3</sub>/g SS, 0.02 g O<sub>3</sub>/g SS, 0.03 g O<sub>3</sub>/g SS, 0.04 g O<sub>3</sub>/g SS로 오존의 양을 달리 하여 슬러지를 처리하고 1-2일 뒤 오존을 슬러지에서 제거하고 난 후 오존 처리한 슬러지를 같은 양의 효소를 사용하여 처리하였다. 전처리에 사용된 효소는 여러 효소 중 가장 전처리 효과가 우수한 protease를 사용하였다. Protease 투여량은 200 µL로 동일시하였다. 우선 오존 자체적인 전처리에 의한 SCOD의 증가를 그래프로 나타내었다(Fig. 3). 다양한 오존량에 의한 SCOD의 증가량을 알기 위하여 오존 전처리 전에 원슬러지

Table 2. The real increase of SCOD depending on different concentration of enzyme.

Enzyme treatment	SCOD(mg/L)		
	a	b	c
Protease	115	438	3256
Carbohydrase	6	154	598
Enzyme complex	176	1150	3520

Protease: a, 15 µL; b, 150 µL; c, 1500 µL.

Carbohydrase: a, 10 µL; b, 100 µL; c, 1000 µL.

Enzyme complex

a, protease 15 µL + carbohydrase 10 µL + lipase 5 µL.

b, protease 150 µL + carbohydrase 100 µL + lipase 50 µL.

c, protease 1500 µL + carbohydrase 1000 µL + lipase 500 µL.

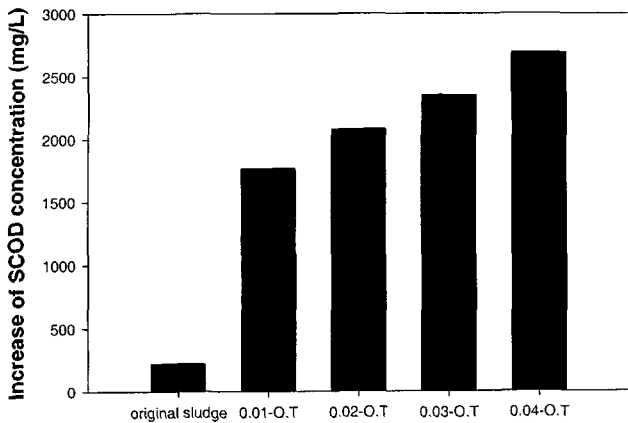


Fig. 3. The increase of SCOD depending on different concentration of ozone.

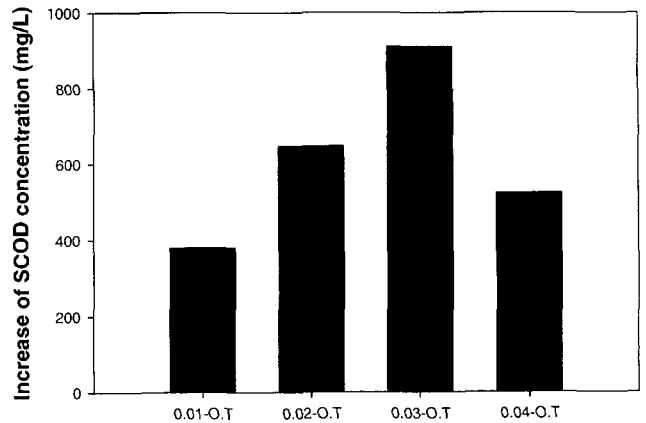


Fig. 4. The increase of SCOD by protease on sludge treated with different concentration of ozone.

의 SCOD를 측정하였고 그 값은 220 mg/L이었다. 다양한 오존양에 따른 SCOD증가량을 보면 0.01, 0.02, 0.03, 0.04 g O<sub>3</sub>/g SS로 처리하였을 때에는 SCOD 증가량은 각각 1548, 1860, 2132, 2472 mg/L이었다. 서로 다른 오존양에 따른 슬러지내의 SCOD와 TCOD의 변화를 정리하여 나타내었다(Table 3). 그 결과, 오존의 양이 증가할수록 SCOD의 증가량도 향상됨을 알 수 있었다. 또한 전처리를 거친 슬러지내의 SCOD가 원슬러지내의 SCOD보다 월등히 높음을 알게 되었다. 이는 슬러지의 대부분이 미생물로 이루어졌으며, 오존에 의한 미생물들을 분해로 인해 SCOD가 증가하였음을 나타내 준다[2]. 다양한 양의 오존으로 처리된 슬러지를 같은 양의 protease로 효소가수분해 반응을 수행하였다. Protease에 의한 SCOD증가량을 측정한 그래프를 보면(Fig. 4), 효소에 의한 가수분해효과는 0.03 g O<sub>3</sub>/g SS의 오존으로 처리한 슬러지에 대한 protease의 전처리 효율이 가장 좋은 효과를 보였다. 이는 오존양에 의한 효소의 가수분해 효율에 있어서 오존의 양이 증가할수록 효소에 의한 전처리 효과도 증가하지만 다량의 오존에 의한 전처리를 거친 슬러지보다는 적정량의 오존 전처리를 거친 슬러지가 효소의 가수분해에 있어서 효과가 우수함을 알 수 있었다. 위의 오존과 효소에 의한 전처리의 결과를 종합하여 나타내었다(Fig. 5). 그래프를 통하여 결과적으로 0.03 g O<sub>3</sub>/g SS의 오존으로 처

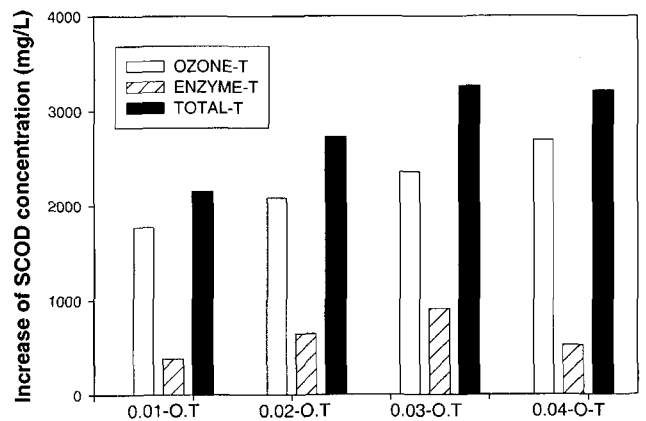


Fig. 5. The increase of total SCOD by ozone and enzyme pretreatment.

Table 3. Change of SCOD and TCOD on sludge by different concentration of ozone.

Amount of O <sub>3</sub> (g O <sub>3</sub> /g SS)	SCOD(mg/L)		TCOD(mg/L)	
	Original sludge	Ozone- Treated	Original sludge	Ozone- Treated
0.01	220	1768	11150	11020
0.02	220	2080	11150	10960
0.03	220	2352	11150	9740
0.04	220	2692	11150	9590

리를 하고 그 처리된 슬러지를 protease로 전처리 한 슬러지의 경우가 가장 높은 전처리 효과를 보였다.

요 약

본 연구는 요즘 하수처리공정의 결과로 발생하는 슬러지에 의한 환경오염 문제를 극복하기 위하여 슬러지 처리 방안으로서 중요시되고 있는 슬러지 전처리 공정 중에서 오존과 효소에 의한 전처리 공정을 연구하고 최적의 처리효율 향상을 위한 방안으로 슬러지 전처리 효율향상과 최적화를 위한 요건을 연구하였다. 슬러지 전처리 최적화를 위하여 오존과 효소의 양을 조절하였다. 그 결과 효소의 양에 따라 슬러지내의 SCOD증가량이 비례하여 증가하였다. 오존 자체적인 슬러지의 SCOD증가량은 오존의 양에 따라 증가하였다. 따라서 0.04 g O<sub>3</sub>/g SS일 때 가장 높게 증가하였다. 각기 다른 오존양을 이용하여 슬러지를 전처리한 후 효소에 의한 슬러지 전처리 효율을 비교하면, 오존처리에서는 가장 많은 양의 오존으로 처리한 0.04 g O<sub>3</sub>/g SS에서 높은 처리효율을 보

인 반면, 효소에 의한 SCOD증가는 0.03 g O<sub>3</sub>/g SS에서 가장 좋았다. 종합적인 오존과 효소의 전처리에 의한 SCOD증가는 0.03 g O<sub>3</sub>/g SS일 때 가장 좋았다.

**감사의 말**

이 논문은 2002년도 한국학술진흥재단의 지원에 의하여 연구되었음(KRF-2002-003-D00081).

**REFERENCE**

1. Barjenbruch, M., H. Hoffmann, and J. Tranker. 1999. Minimizing of foaming in digesters by pretreatment of the surplus sludge. *Wat. Sci. Tech* **42**: 235-242.
2. Brooks, R. B. and I. Grad. 1968. Heat treatment of activated sludge. *Wat. Poll. Control* **67**: 592-601.
3. Cadoret, A., A. Conrad, and J. C. Block. 2002. Availability of low and high molecular weight substrates to extracellular enzymes in whole and dispersed activated sludges. *Enzyme Microb. Technol* **31**: 179-186.
4. Frolund, B., T. Grie, and P. H. Nielsen. 1995. Enzymatic activity in the activated-sludge floc matrix. *Appl. Microbiol. Biotechnol* **43**: 755-761.
5. Jang, E. S., Y. G. Choi, H. S. Kim, and I. T. Yeom. 2003. Effects of sewage sludge pretreatment on the biodegradability of the biosolids. *J. Kor. Soc. Wat. Wastewater* **17**: 633-639.
6. Jung, J. H., X. H. Xing, and K. Matsumoto. 2001. Kinetic analysis of disruption of excess activated sludge by Dyno Mill and characteristics of protein release for recovery of useful materials. *Biochem. Eng. J.* **8**: 1-7.
7. Jung, J. H., X. H. Xing, and K. Matsumoto. 2002. Recoverability of protease released from disrupted excess sludge and its potential application to enhanced hydrolysis of proteins in wastewater. *Biochem. Eng. J.* **10**: 67-72.
8. Knapp, J. S. and J. A. Howell. 1978. Treatment of primary sewage sludge with enzyme. *Biotechnol. Bioeng.* **20**: 1221-1234.
9. Lutz, T., J. Gerald, and S. Bruno. 1993. Improved sludge dewatering by enzymatic treatment. *Wat. Sci. Tech.* **28**: 189-192.
10. Muller, J. A. 2001. Prospects and problems of sludge pretreatment process, Proc. Sludge Management Entering the 3rd Millennium. Taiwan. Taipei. 111.
11. Nah, I. W., Y. W. Kang, K. Y. Hwang, and W. K. Song. 2000. Mechanical pretreatment of waste activated sludge for anaerobic digestion process. *Wat. Res.* **34**: 2362-2368.
12. Parmar, N., A. Singh, and O. P. Ward. 2001. Enzyme treatment to reduce solids and improve settling of sewage sludge. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* **26**: 383-386.
13. Ryong, L. K. 2000. Enhancement of Sludge Biodegradability by Ozone Treatment, M. S. Thesis, Dept. of Civil & Environmental Engineering, Korea University, Seoul.
14. Wang, Q., J. Chen, K. Kakimoto, H. I. Ogawa, and Y. Kato. 1995. Pretreatment of waste activated sludge results in enhancement of its anaerobic digesting efficiency. *J. Jpn. Assoc. Wat. Environ.* **18**: 875-882.

(Received Mar. 31, 2004/Accepted June 1, 2004)