

## 하수 슬러지 농축 및 탈수성에 미치는 오존의 영향

# Effect of Ozone Injection on Dewaterability and Thickening of Sewage Sludge

황경사<sup>1</sup> · 김문호<sup>2</sup> · 배윤선<sup>2</sup> · 박철휘<sup>2,\*</sup>

Hwang, Kyeoung-Sa<sup>1</sup> · Kim, Moon-Ho<sup>2</sup> · Bae, Yoon-Sun<sup>2</sup> · Park, Chul-Hwi<sup>2,\*</sup>

1 환경관리공단 상하수도지원처 연구개발팀

2 서울시립대학교 환경공학부

(2005년 10월 24일 논문 접수; 2005년 12월 12일 최종 수정논문 채택)

### Abstract

It is required to propose an alternatives for appropriate sludge treatment owing to persistent construction of sewage treatment plant and increase of sewage sludge quantity. In order to treat sludge more efficiently, the methods which reduce the cost of sludge treatment have been studied such as sludge reduction and conditioning.

Especially ozone treatment reduces solid quantity and improves separation of solid-liquid at the same time. Therefore ozone treatment have a positive effect on reduction and stabilization of sludge.

So, this study applied ozone to sewage sludge and induced cell destruction of sludge. By comparing with the correlation between thickening and dewatering, and evaluating moisture content and solubilization of cake, this study verificates the effect of process improvement for ozone pre-treatment.

In J-STP case, according to ozone dose solid flux increased about 12 times from 1kg/m<sup>2</sup>-h to 12kg/m<sup>2</sup>-h. Also this plant were capable to shorten thickening time from 40 minutes to 6~7 minutes. Thus it is expected to reduce volume and retention time of thickener.

On pH effect factor, dewatering at pH4 was more than at pH11,  $3.05 \times 10^{11}$  and  $3.82 \times 10^{11}$  (m/kg). But effect of pH was analogous to ozone,  $2.81 \times 10^{11}$  (m/kg). The effect of pH on thickening was similar to law sludge, 0.68 (kg/m<sup>2</sup>-h), and the effect of ozone injection on thickening was the biggest, 3.45 (kg/m<sup>2</sup>-h).

The COD solubilization rate improved from about 5 to 30%. So it is judged that we are able to utilize most solubilized sludge to another sewage treatment plants.

**Key words:** dewatering, thickening, flux, solubilization, moisture content, ozone

**주제어:** 탈수, 농축, 플럭스, 가용화, 함수율, 오존

\*Corresponding author Tel: +82-2-2210-2176, Fax: +82-2-2213-6870, E-mail: chpark@uos.ac.kr (Park, C.H.)

## 1. 서론

정부는 장기적으로 80%의 하수처리율을 목표로 지속적인 하수처리시설 보급을 추진하여 왔으며, 최근 15개 다목적댐 상류지역의 상수원 수질개선 및 하수도 보급률 향상을 위하여 7개 다목적댐 상류에 268개소의 하수처리시설 확충을 계획하고 추진하고 있어 향후 하수슬러지 발생량은 지속적으로 증가될 것으로 예상된다. 따라서, 하수슬러지 발생량에 대한 적절한 대책마련이 시급한 실정이다.

하수 중 고형물을 물리적으로 분리시킨 1차슬러지와와 생물학적 처리과정에서 배출되는 잉여슬러지 등으로 구성되는 하수슬러지는 국내에서 2003년 7월 이후 유기성슬러지 직매립 금지에 의해 하수슬러지 처리에 관한 다각적인 방안이 모색되어왔으나, 적절한 대책마련이 어려운 실정으로 대부분 해양투기에 의존하고 있다. 2003년 기준 해양투기의 비율은 74.5%, 소각 15.2%, 육상매립 6.4%, 재활용 3.9%로 나타나 런던협약 '96의정서의 국제발효에 대비한 해양배출 폐기물의 수용체제 구축 및 이행방안 등의 새로운 하수슬러지 대책마련이 중요한 환경 현안이 되고 있다.

국내에서 하수슬러지 처리방법에 관한 연구는 대부분 소각에 관한 것이 많으나, 소각처리시 나타나는 운전상의 문제와 더불어 낮은 슬러지 탈수효과로 인하여 소각시 보조연료 소비량이 과다하게 되는 고비용의 단점이 나타나고, 그 적용에 현실적 제약이 있다. 이를 보완하기 위해 퇴비화, 복토재 등의 연구가 진행 중이나 선진국에 비하여 대단히 취약한 형편이다.

하수슬러지의 처리에 있어 함수율은 소각 및 재활용 처리비용을 결정하는 중요한 요소로 최근 슬러지의 탈수성 개선과 더불어 감량에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 효율적 슬러지 처리를 위해서는 슬러지 자체에 함유되어 있는 수분을 최소화시키는 슬러지 개량 과정이 중요하다. 슬러지 개량은 슬러지의 물리적 특성을 변화시켜 탈수, 농축이 잘 되도록 하여 슬러지의 부피와 케이크의 수분함량을 줄이고 탈수장치의 부하를 낮출 수 있다.

하수슬러지를 구성하는 미생물은 세포벽으로 둘러

싸여 있어 생분해성이 낮으며, 세포 내부수나 간극수 등과 같은 부착수 함량이 높고 친수성이 높아 고액분리성이 좋지 않은 것으로 알려져 있다(Erdinçler A. et al., 2000). 따라서 전처리를 통하여 세포벽을 파괴하고 세포 구성 물질들의 가수분해를 촉진시켜 슬러지의 생분해성을 높이며, 이를 통해 세포나 미세한 플러크 내부에 갇혀 있던 수분을 유출시켜 분리가 용이해지도록 한다. 현재까지 연구된 하수슬러지의 대표적인 전처리 방법으로는 물리적인 방법으로서 파쇄, 초음파처리, 습식밀을 이용한 기계적 처리 등이 있으며, 슬러지에 열을 가하여 세포내 물질을 용출시키는 열처리 방법과 오존, 산 또는 알칼리물질을 첨가하여 가용화시키는 화학적 처리방법 등이 있다(Muller J. et al., 1998; Weemaes M. et al., 2000). 이중 오존처리는 슬러지의 가용화를 통한 고형물량의 감량화와 세포분해에 의한 고액분리성 향상을 동시에 이룰 수 있음이 확인되었고, 이를 통해 슬러지 발생량을 감소시킬 수 있었으며, 감량화 및 안정화에도 효과가 있음이 제시되어 왔다.

본 연구에서는 기존 하수처리장 반송슬러지에 오존을 적용하여 슬러지의 세포파괴를 유도하고 슬러지 개량 효과를 평가하고자 하였으며, 오존 주입량을 달리하여 오존처리에 따른 슬러지의 농축성과 탈수성의 변화를 비교하고, 슬러지 개량을 통한 최종 탈수케익의 함수율 및 슬러지 가용화를 등에 미치는 영향을 분석하였다. 위의 분석을 통하여 실제 하수처리장에서 오존 적용가능성과 오존 전처리에 따른 공정개선의 영향을 연구해 보고자 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험재료 및 장치

본 실험에서는 표준화슬러지법으로 운영되는 J 하수처리장의 반송슬러지를 대상으로 실험을 실시하였고, 그 특성은 Table 2.1과 같다. 또한 본 실험에 사용된 오존장치는 순산소 발생장치를 거쳐 오존발생기로부터 생성된 오존가스가 반응조로 유입되는 구조로 되어있다. 반응조에 유입된 오존가스는 산기관에 의해 작은 기포로 분산되며, 오존의 주입량을 조절할 수 있도록 구성되어 있다. 또한 반응조의 상부에는 거품제거를 위한 교반기를 설치하였다. 반응조는 두

**Table 2.1.** Properties of sewage sludge used in this study

Properties	Mean values
	J-STP
pH	7.43
TSS(mg/L)	5,785
VSS(mg/L)	3,957
TCODCr(mg/L)	4,253
SCODCr(mg/L)	233
Particle size( $\mu\text{m}$ )	95-105
Zeta-Potential(mV)	-23.8

**Table 2.2.** Analytical methods

Item	Analytical methods
pH	pH meter (YSI model 63)
COD <sub>Cr</sub>	Closed Reflux Method (SM 5220B)
TSS(VSS)	Volatile Solids Ignited at 103°C (550°C)(SM 2540E)
Particle size	Master sizer(Malvern)
Zeta-potential	Zeta-meter system 3.0
Viscosity	Viscometer (LVF, Brookfield engineering Lab.)

명아크릴로 제작하였으며, 내경 10cm, 높이 100cm이다. 반응조의 전체 용량은 회분식으로 약 6L이다. 오존장치의 모식도를 Fig. 2.1에 나타내었다.

또한 반응조에는 오존발생기로부터 오존량을 0, 0.02, 0.04, 0.05, 0.09gO<sub>3</sub>/gTSS으로 설정하여 주입하였으며, 반응시간은 동일하게 5분을 적용하였다. 그리고 반응조에 슬러지를 2L 투입하여 오존처리를 실시하였다.

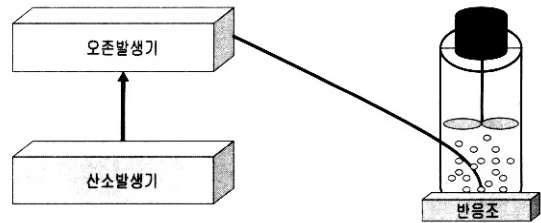
## 2.2. 실험방법

### 2.2.1. 분석 방법

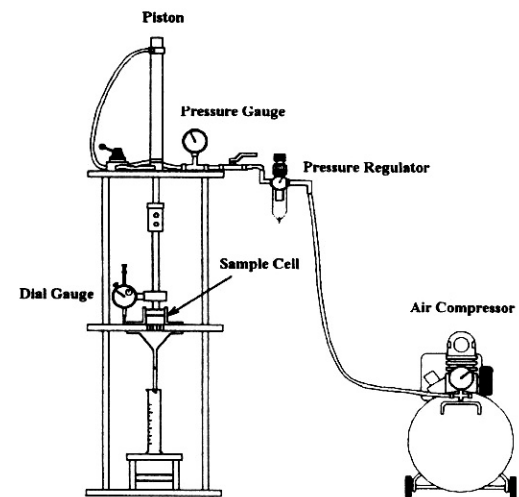
대상슬러지는 하수처리장에서 채취하여 슬러지 본래의 특성을 유지하기 위해 냉장보관하였다. 각 분석항목별 분석내용 및 방법은 수질오염공정시험법 및 Standard Methods에 준하여 실시하였으며, 각 분석항목별 분석내용 및 방법은 Table 2.2와 같다.

### 2.2.2. 비저항 실험

본 실험에서는 슬러지의 탈수성능 및 부피 변화와 관련된 인자인 함수율을 측정하여야 한다. 측정된 탈수 전 함수율과 탈수 후 함수율은 비저항계수의 도출에 이용되며, 탈수 후 함수율은 슬러지 처분 이전의 최종 함수율로서 부피저감과 관련된 탈수성능의 지표



**Fig. 2.1.** Schematic diagram of experimental set.



**Fig. 2.2.** Schematic diagram of filtration-expression cell.

가 된다.

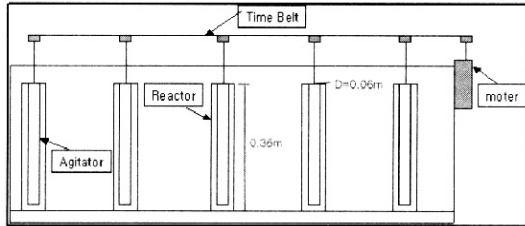
Fig. 2.2에서는 본 실험에서 비저항계수 측정을 위해 사용한 가압탈수장치의 모식도를 나타내었다. 본 장치는 에어컴프레서를 추진압으로 하여 정압을 유지하기 위하여 레귤레이터를 설치하여 작용압력을 조절할 수 있도록 하였다. 메스실린더와 Dial Gauge(No. 2052F, Mitutoyo)를 사용하여 탈수여액량 및 침하깊이를 측정하고, 여기서 얻은 탈수여액의 점도를 점도계(Brook-field사의 LVI 106569)를 이용하여 측정하였다. Table 2.3에서는 가압탈수기의 제원을 나타내고 있다.

### 2.2.3. 농축실험

중력식 농축 교반장치를 다음 Fig. 2.3과 같이 구성하였다. 본 장치는 벽면에서 발생하는 마찰력을 최소화하고 농축효율이 저하되지 않을 정도의 속도 6~7rpm로 교반하였다. 운전 조건을 동일화하기 위해서 타임벨트를 이용하여 1개의 모터로 작동될 수

**Table 2.3.** Characteristics of filtration-expression cell

Efficient Volume of Sample Cell	Applied Pressure	Unit Reading Scale	Filter
50 ml ( $\phi$ 40.0mm×h39.8mm)	1-5 kg/cm <sup>2</sup>	Filtrated 0.013 ml Thickness 0.01mm	Whatman No. 2



**Fig. 2.3.** Schematic diagram of gravity thickening batch test.

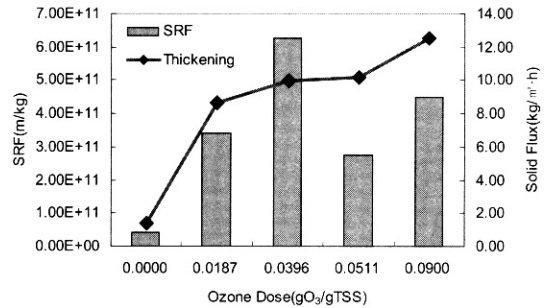
있도록 하였고, 교반 속도는 변속기로 조절하였다. 반응조 내에는 초기 슬러지의 TSS 측정 후 각 시료에 대하여 조건별 침강속도를 구하고 계산식에 의해 플럭스를 산출하였다.

### 3. 실험결과 및 고찰

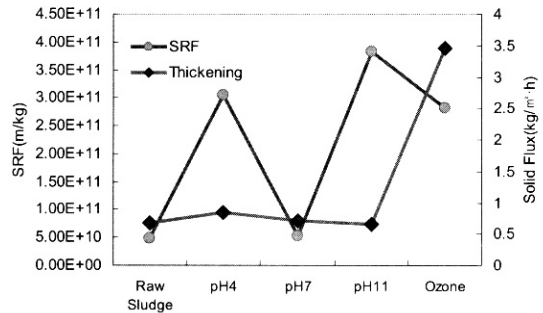
#### 3.1. 탈수·농축성 평가

##### 3.1.1. 오존량에 따른 변화

본 연구에서는 오존 주입량에 따른 슬러지의 물리적 특성이 어떻게 변화하는가를 비교하기 위하여 슬러지 단위무게(gTSS)에 대한 오존 주입량을 각각 0, 0.02, 0.04, 0.05, 0.09gO<sub>3</sub>로 변화시켜 실험하였으며 그 결과를 Fig. 3.1에 나타내었다. 오존주입량의 증가에 따라 슬러지 농축성은 점차 향상되어 오존주입량 0.09gO<sub>3</sub>/gTSS에서 최대 농축성을 나타내었다. 이는 오존처리가 하수슬러지의 세포벽을 부분적으로 파괴시킨 결과로 사료된다. 보통 미생물은 중력과 부력을 동시에 가지고 있는데, 오존처리로 인해 세포벽을 파괴시킴으로써 부력을 감소시킬 수 있다. 이때 입자의 침강성이 향상되는 결과를 나타내는데 침강성 향상이 이러한 결과로부터 오는 것으로 사료된다. 슬러지의 탈수성은 오존주입량이 0.05gO<sub>3</sub>/gTSS일 때 비저항계수가 가장 작게 나타났다. 이는 실험군 중에서 가장 양호한 탈수성임을 알 수 있었다. 일반적으로 오존처리에 의해 슬러지의 탈수성은 악화된다(Müller et al., 1998; Scheminski et al., 2000; Weemaes et al., 2000)고 알려져 있는데 이러한 결과와 마찬가지로 본 연구에서도 같은 추이를 나타내었다.



**Fig. 3.1.** Variation of dewaterability and thickening according to ozone doses.



**Fig. 3.2.** Comparison of dewaterability and thickening according to pH and ozone.

##### 3.1.2. pH에 따른 변화

오존을 주입한 후 슬러지의 농축 및 탈수성에 관한 결과를 pH에 따른 결과와 비교하여 Fig.3.2에 나타내었다. pH만을 조정 한 결과에서는 pH4의 약산성일 때가 pH11일 때 보다 탈수성은 각각  $3.05 \times 10^{11}$ ,  $3.82 \times 10^{11}$ (m/kg)로 개선되었으나, 오존주입의  $2.81 \times 10^{11}$ (m/kg)과 비슷한 수준을 보였다. 이는 응집을 위한 pH의 적정조건은 산성 영역임을 확인한 이 등(1998)의 결과와 유사하며, 오존의 투입으로 pH가 낮아지면 입자의 콜로이드 성질을 파괴하여 탁도를 증가시키고, 응집침전 효율을 극대화시킴으로써 슬러지 생산량을 감소시킨다는 결과와도 일치되는 것으로 나타났다. 이 같은 결과는 오존에 의한 약산성화가 농축 및 탈수성에 다소 영향을 준 것으로 사료된다.

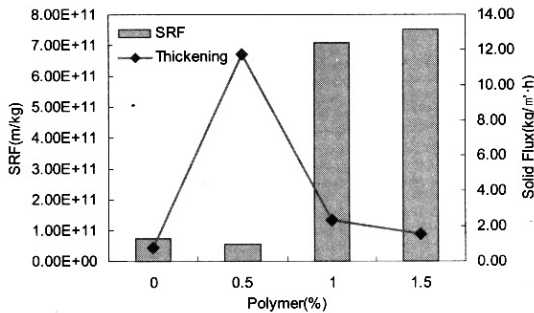


Fig. 3.3. Comparisons of dewaterability and thickening according to polymer.

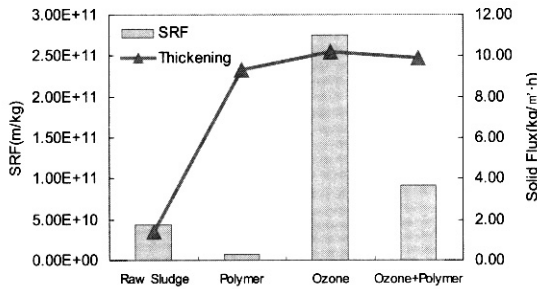


Fig. 3.4. Comparisons of dewaterability and thickening according to raw sludge, polymer, ozone and ozone+polymer.

그러나 농축성에서의 pH의 영향은 원슬러지  $0.68\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$ 과 거의 비슷하게 나타났고, 오존주입의 영향이  $3.45\text{kg/m}^2 \cdot \text{h}$ 로 가장 크게 나타났다. 따라서 오존처리에서 고형물에 대한 플릭스가 가장 높게 적용되었고, 이때 슬러지의 농축성을 향상시키는 것으로 나타났다.

### 3.1.3. 적정 폴리머 결정

실제 사용 중인 하수슬러지의 적정 폴리머의 양을 결정하기 위한 실험으로 폴리머는 액상의 0.2% 양이 온계 폴리아크릴아미드를 사용하였으며, 폴리머 주입량은 슬러지 gTS당 0.5, 1, 1.5%로 설정하여 주입하였다. 이 결과 0.5%로 주입했을 때가 탈수 및 농축에서 가장 효과적인 주입량으로 나타났다.

이 조건은 현재 J하수처리장의 TS(약 0.5%)을 기준으로 실험한 결과이며, 실제 슬러지 적용에서는 슬러지의 TS(%)를 실험시 마다 분석한 후에 적정 폴리머를 적용하는 것이 바람직 할 것으로 사료된다.

### 3.1.4. 조건별 비교

Fig. 3.4에 원슬러지를 비롯하여 적정폴리머(0.5% TS기준)만을 주입, 오존 0.05gO<sub>3</sub>/gTSS 주입, 오존 0.05gO<sub>3</sub>/gTSS + 적정폴리머를 주입한 4가지 슬러지를 대상으로 농축 및 탈수성을 비교하였다. 농축성에서는 원슬러지를 제외한 3가지 조건에서 거의 비슷한 플릭스를 나타내었으며, 원슬러지에 비하여 약 5배에서 10배 정도 향상된 결과를 볼 수 있었다. 향상된 고형물 플릭스는 결국 농축조 체류시간을 초기 약 40분에서 오존처리한 후에는 약 10분 정도로 30분 가량 단축시키는 것이 가능하게 되는 처리효과를 얻을 수 있었으며, 농축조의 면적을 감소시킬 수 있는 공정개선 효과를 기대할 수 있다. 따라서 기존의 농축조에서 농축이 저조한 점을 감안하면 이 결과를 적용시 기존의 농축조를 효율적으로 개선시킬 수 있는 결과로 사료된다.

### 3.1.5. 입도 분석

오존주입량의 증가에 따른 농축과 탈수성은 다소 상반된 결과를 나타내었는데, 이는 오존처리로 인한 슬러지 입자가 파괴로 인한 제타전위에 상당한 영향이 있을 것으로 사료되어, 이러한 영향에 대한 평가를 위해 입도분석 및 제타전위 측정을 수행하였으며, 그 결과는 아래 Fig. 3.5과 Fig. 3.6에 나타내었다.

Fig. 3.5는 오존주입량을 증가시키며, 그리고 폴리머주입 유무의 변수를 주어 입도분석을 수행한 결과, 오존주입량 증가에 따라서 평균입도분포가 점점 작아지는 현상을 보여주었고, 폴리머만을 사용할 때의 평균입도분포가 가장 큰 범위를 나타낸 바, 폴리머가 입자의 응집에 큰 영향을 준 것으로 판단된다. 오존 + 폴리머의 경우에는 원슬러지에 비하여 평균입도분포가 다소 상승한 것으로 나타났는데 이는 오존의 주입으로 인하여 입자파괴 후 다시 폴리머의 재응집에 따른 결과에 의한 것이라 판단된다. 그러나 농축성은 원슬러지에 비하여 다소 효율적이었으나 탈수성은 오히려 원슬러지 보다 악화된 현상을 볼 수 있었으며, 이는 재응집 현상과정에서 오존주입으로 인한 미세화된 입자의 수가 더욱 증가했기 때문으로 사료된다.

### 3.1.6. 제타전위

제타전위 측정결과 Fig. 3.6에 나타낸 바와 같이 원

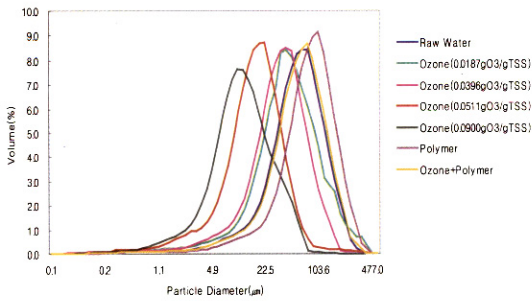


Fig. 3.5. Variations of particle size by ozone doses and polymer.

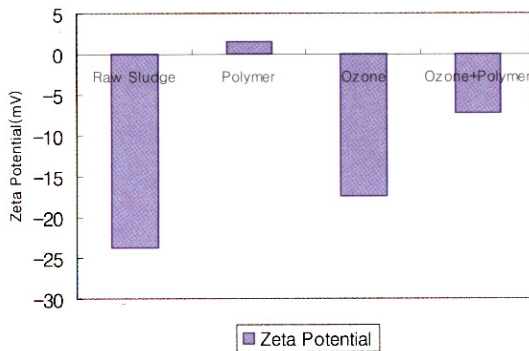


Fig. 3.6. The effects of zeta-potential according to raw sludge, polymer, ozone and ozone+polymer.

슬러지와 오존을 주입한 슬러지의 경우 초기 제타전위 약 -24mV에서 오존주입 후에는 약 -17mV로 증가하는 것으로 나타났다. 폴리머를 사용한 경우에는 0이었고, 오존 + 폴리머의 경우에도 약 -7mV로 증가하였다. 이는 세포표면의 고분자 물질이 오존에 의해 분해되어 표면전하의 감소로 이어지고, 이로 인해 입자간의 반발력이 감소하기 때문으로 사료된다. 이는 일반적으로 양이온 폴리머를 투입하면 입자의 전하를 중화시켜 표면전하가 0이 되게 함으로써 응집력과 탈수성이 향상되는 결과를 얻을 수 있다. 본 연구에서의 탈수성의 결과도 이에 일치하는 것으로 나타났다.

### 3.2. 오존주입이 COD에 미치는 영향

#### 3.2.1. 가용화율 조사

오존주입량을 0.02, 0.04, 0.05, 0.09gO<sub>3</sub>/gTSS와 같이 단계적으로 증가시켜 주입함으로써 유기물 농도(COD)가 어떻게 변화하는지 조사한 결과를 Fig. 3.7에 나타내었다. 오존주입량에 따라 TCOD는

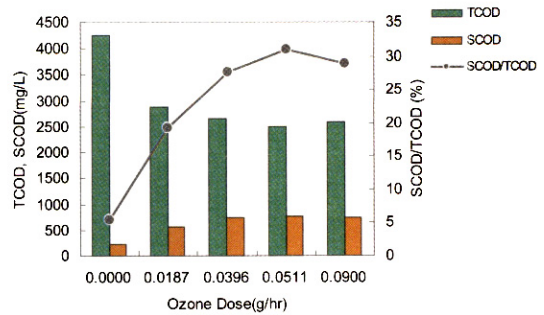


Fig. 3.7. Variations in COD of sludge according to ozone doses.

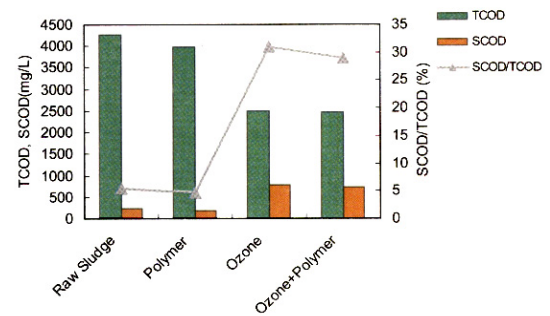


Fig. 3.8. Comparisons of COD of sludge according to raw sludge, polymer, ozone and ozone+polymer.

4,253mg/L에서 2,506mg/L까지 계속 감소하다가 오존주입량 0.09gO<sub>3</sub>/gTSS에서는 거의 일정한 수준을 유지하였고, SCOD는 오존주입량에 따라 계속 상승하여 오존주입량 0.05gO<sub>3</sub>/gTSS에서 약 3.3배 증가된 경향을 볼 수 있다. 오존주입량 0.05gO<sub>3</sub>/gTSS에서 가장 높은 가용화율(SCOD/TCOD)을 나타내었으며, 초기 SCOD/TCOD가 약 5에서 30%로 6배 정도 향상되었다. 따라서 오존 주입으로 인하여 슬러지의 SCOD가 증가된 이유는 주로 입자성 물질이 가수분해과정에서 용해성 상태로 전환되거나, 미생물의 세포벽이 파괴되어 세포내의 유기물질이 용출됨에 따른 것으로 사료된다.

#### 3.2.2. 조건별 COD가용화

Fig. 3.8은 전처리를 하지 않은 원슬러지, 오존과 폴리머를 단독 또는 혼용하여 처리한 4가지의 경우에 대하여 슬러지의 COD변화를 나타낸 결과이다. 오존만을 단독으로 주입한 경우, 오존 + 폴리머를 이용하

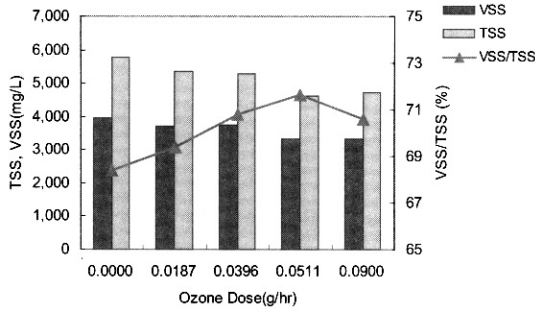


Fig. 3.9. Variations of TSS and VSS according to ozone doses.

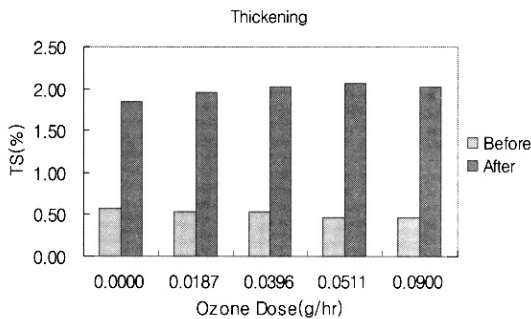


Fig. 3.10. Variations of TS thickening according to ozone doses.

여 전처리한 경우가 COD가용화율이 약 29% 정도의 향상된 결과를 나타내었으며, 폴리머 단독 처리시보다 오존을 사용한 경우 약 6배 정도 가용화율(SCOD/TCOD)이 증가함을 알 수 있었다. 따라서 기존하수처리장에서 오존을 슬러지 전처리 공정에 적용함으로써 가용화된 물질을 보다 효과적으로 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

### 3.3. 고형물변화

#### 3.3.1. 오존량에 따른 SS변화

Fig. 3.9에서는 오존주입량을 증가시킬 때 고형물 질에는 어떤 영향을 주는지 조사한 결과이다. 오존주입량을 증가시킴에 따라 초기 TSS는 5,785mg/L에서 4,625mg/L로 약 20% 감소되었으며, VSS 또한 같은 수준으로 감소되는 것을 알 수 있었다. 하지만 오존주입량 증가는 슬러지의 VSS함량을 오히려 약 68%에서 71% 정도로 증가되는 현상을 볼 수 있었다. 이는 오존주입량이 0.05gO<sub>3</sub>/gTSS일 때 3.2.1절에서 언급한 바와 같이 고형물의 20%가 오존을 주입한 후

가수분해 과정에서 입자성 물질이 용해성 상태로 전환된 결과로 사료된다. 이 중에서 17%는 가용화되었고, 나머지 3%는 실험오차 또는 미생물의 특성상 일부가 분해되면서 가스로 전환된 것으로 사료되는 부분이다.

#### 3.3.2. 농축효율

오존주입량에 따른 농축 전·후의 TS(%)를 Fig. 3.10에 나타내었다. 오존주입량이 증가함에 따라 중력 농축후의 고형물 농도는 약 1.8%에서 2% 정도로 증가하여 농축성이 향상됨을 알 수 있었다. 이는 오존처리된 슬러지 중 미생물의 세포벽을 파괴시킴으로써 전체적으로는 슬러지의 침강성에 영향을 주는 부력을 감소시킴으로써 고형물 농도를 증가시킨 것으로 추정되며, 결과적으로 농축성에 영향을 미쳐 농축공정에도 긍정적으로 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

### 3.4. 농축 침전 속도

#### 3.4.1. 간섭침전속도

Fig. 3.11에서는 오존주입량에 따른 간섭침전속도를 나타낸 그래프인데, 원슬러지에 비하여 오존처리한 경우가 시간에 따른 침강성이 향상됨을 알 수 있는 결과이다. 실제 고형물 플럭스(solid flux)도 원슬러지와 오존주입 0.02, 0.04, 0.05, 0.09gO<sub>3</sub>/gTSS에서 각각 1.41, 8.62, 9.99, 10.20, 12.56kg/m<sup>2</sup>·h으로 나타나 오존주입량 증가에 따른 고형물 플럭스가 5~10배 정도 향상된 결과를 얻을 수 있었다.

#### 3.4.2. 최종 농축시간

원슬러지와 오존 0.09gO<sub>3</sub>/gTSS를 적용한 슬러지의 간섭침전속도 그래프를 이용하여 최종 농축시간을 구한 그래프는 Fig. 3.12와 같다. 이 그래프에서는 원슬러지와 오존을 적용한 경우를 비교해 보면 최종 농축시간이 40분에서 7분으로 5배 이상 향상된 결과를 알 수 있었으며, 플럭스의 경우와 마찬가지로 상관성이 있는 데이터를 얻을 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 이로부터 실제 농축조의 최종 농축시간을 비교함으로써 농축조의 면적 감소에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 사료된다. 달리 말하면, 기존처리장의 농축조를 그대로 이용할 경우 매우 효율적인 처리공정으로 적용이 가능함을 알 수 있는 결과이다.

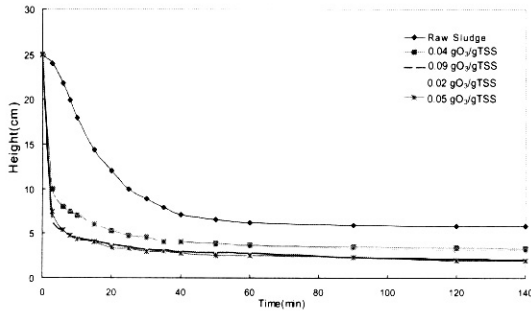


Fig. 3.11. Variations of interface settling velocity according to ozone doses.

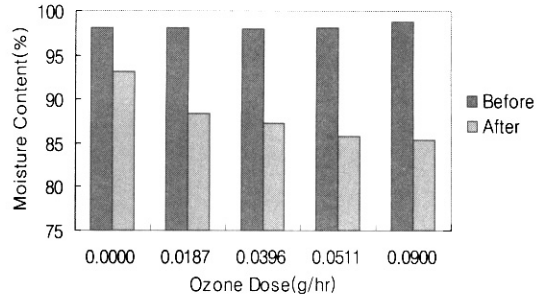


Fig. 3.13. Comparisons of moisture content of dewatered cake according to ozone doses.

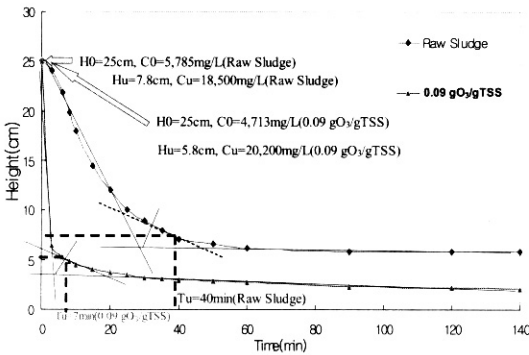


Fig. 3.12. The effects of ultimate time of thickening by interface settling velocity.

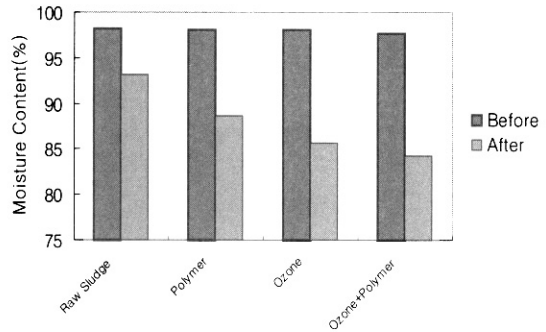


Fig. 3.14. Comparisons of moisture content dewatered cake by sludge conditions.

### 3.5. 케이크 함수율

#### 3.5.1. 오존량에 따른 케이크함수율

Fig. 3.13에서는 오존주입량에 따른 탈수 전·후의 케이크함수율을 비교한 결과, 오존이 실제 실험에서는 탈수성이 다소 악화되는 경향을 보이고 있으나, 탈수된 케이크에서는 오히려 오존량이 증가할수록 함수율이 적어지는 것으로 나타났다. 이는 실제 탈수의 목적인 수분 감량에서는 상당한 효과가 있을 것으로 판단된다.

#### 3.5.2. 조건별 케이크 함수율

오존을 적용하여 슬러지의 농축성과 탈수성을 비교함에 있어 농축성은 개선효과를 나타냈지만, 오존으로 인한 입자의 미세화로 인해 여지의 폐색현상이 발생하여 탈수성은 오히려 악화된 것으로 나타났다. 이는 입도분석이나 제타전위의 결과로 해석이 가능하다. 하지만 Fig. 3.14의 슬러지 감량의 일반적 목적인

슬러지 케이크함수율에서는 오존 처리한 케이크가 원슬러지나 폴리머를 사용한 케이크보다 오히려 양호한 케이크 함수율을 보였다. 또한 탈수 전 함수율은 모두 약 98%였으나, 오존과 오존+폴리머를 이용한 탈수후의 케이크함수율은 각각 85%와 84%정도로 비슷하게 감소하는 결과를 가져왔다. 이 결과로부터 오존 처리를 적용할 경우 슬러지 입자사이의 표면수나 부착수 등이 세포로부터 탈착되거나 용출되어 최종적인 케이크 함수율에 긍정적인 영향을 주는 것으로 판단된다.

## 4. 결 론

본 연구에서는 활성슬러지공법을 적용하는 J하수처리장의 반송슬러지를 대상으로, 슬러지의 전처리로서 오존을 적용하여 실험을 수행하였으며, 오존 주입량에 따른 농축과 탈수성을 비교하고, 최종 탈수케이크의 함수율에 미치는 영향을 분석하여 실제 하수처



리장에서의 오존 적용가능성을 연구하였다.

1. 오존주입량에 따른 고형물 플럭스가 원슬러지 약  $1(\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 에서  $12(\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 으로 약 12배정도 향상되었다. 또한 슬러지 최종 농축시간이 초기 약 40분에서 오존처리한 후에는 농축시간이 약 6~7분 정도로 단축되는 효과를 얻을 수 있었다. 따라서 농축조의 면적을 감소시킬 수 있는 공정개선의 효과를 기대할 수 있다.

2. pH의 영향인자를 살펴보면, pH4의 약산성일 때가 pH11일 때보다 탈수성은 각각  $3.05 \times 10^{11}$ ,  $3.82 \times 10^{11}(\text{m}/\text{kg})$ 로 개선되었으나, 오존주입의  $2.81 \times 10^{11}(\text{m}/\text{kg})$ 과 비슷한 수준을 보였다. 농축성에서의 pH의 영향은 원슬러지  $0.68(\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 과 거의 비슷하게 나타났고, 오존주입의 영향이  $3.45(\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 로 가장 크게 나타났다.

3. COD가용화율(SCOD/TCOD)은 초기 약 5%에서 오존( $0.05\text{gO}_3/\text{gTSS}$ )로 처리한 후에는 약 30%로 향상된 결과를 얻었다. 따라서 기존하수처리장에 오존을 적용하여 슬러지의 가용화에 의한 감량화 및 수처리 계열로의 적용 등 적절히 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

4. SS변화를 보면, 오존적용에 따라 TSS, VSS가 감소하며, VSS/TSS도 원슬러지 약 68%에서 오존적용 후에 최대 약 71%까지 증가하는 결과를 가져왔다. 따라서 오존을 적용하면 세포가용화 후의 기질 이용면에서도 유리할 것으로 판단된다.

5. 슬러지 케이크 함수율에서는 원슬러지 약 98%였던 함수율이 오존처리 후에는 85%까지 함수율이 개선된 결과를 가져왔다. 이 결과로 오존처리를 기존의 하수슬러지에 적용하면 슬러지 내부의 표면수나 부착수가 세포에서 용출되어 최종적인 케이크 함수율에 긍정적인 영향을 미치는 것으로 판단된다.

## 참고문헌

유기영 (1990) 표면전하 및 입도 특성이 탈수성에 미치는 영향, 서울시립대학교 석사학위 논문.  
신용섭 외 (1996) 건조곡선을 이용한 도시하수 슬러지내 수분분포 측정, *대한환경공학회*, **18**(9), pp. 1061-1072.  
이재복, 황정욱, 권일, 정태학 (1995) 도시하수슬러지의 탈수특성 연구, *상하수도학회지*, **9**(2), pp. 84-96.  
권재철, 류성호, 박기영, 안규홍, 염익태, 이용훈 (2002) 오

존처리에 의한 하수슬러지의 감량화, *상하수도학회지*, **16**(2), pp. 153-160.  
전대성 외 (2000), *폐수처리 운전 및 설계*, pp. 343-352, 동화기술.  
구윤희 (1998) 상수슬러지의 수분분포와 탈수성에 대한 영향인자, 서울시립대학교 석사학위 논문.  
이용두, 강용태, 허목, 이재복 (1998) *슬러지 처리공학*.  
Erdincler A. and Vesilind P.A. (2000) Effect of sludge cell disruption on compactibility of biological sludges, *Wat. Sci. Tech.*, **42**(9), pp. 119-126.  
J. Staehelin and J. Holgn, (1985) Decomposition of ozone in water in the presence of organic solutes acting as promoters and inhibitors of radical chain reactions, *Envir. Sci. & Technol*, **19**, 1206.  
Karr, P.R. and Keinath, T.M. (1978) Limitations of the Specific Resistance and CST Tests for Sludge Dewatering, Filtration & Separation, November/December, pp. 543-544.  
Knocke, W.R. and Novak, J.T. (1980) Vacuum Filtration of Metal Hydroxide Sludges, *ASCE*, **106**(ee2), pp. 376-383.  
Lin S.H. and Yeh K.L. (1993) Looking to treat wastewater? Try ozone, *Chemical Engineering*, **5**, pp. 112-116.  
Müller J., Lehne G., Schwedes J., Battenberg S., Naveke R., Kopp J., Dichtl N., Scheminski A., Krull R. and Hempel D.C.(1998) Disintegration of sewage sludge and influence on anaerobic digestion, *Wat. Sci. Tech.*, **38**(8-9), pp. 425-433.  
Novak, J.T. and Haugan, B.E. (1979) Chemical Conditioning of Activated Sludge, *JASCE*, **161**(EE5), pp. 993.  
Robinson, J., Knocke, W.R. (1992) Use of Dilatometric and Drying Techniques for Assessing Sludge Dewatering Characteristics, *Water Environment Research*, **64**(1), pp. 60-68.  
Weemaes M., Grootaerd H., Simoens F. and Verstraete W. (2000) Anaerobic digestion of ozonized biosolids, *Wat. Res.*, **34**(8), pp. 2230-2336.  
Steven K. Dentel and Mohammad M. Abu-Orf and Nancy J. Griskowitz and Department of Civil Engineering University of Delaware, (1993). Guidance Manual for Polymer Selection in Wastewater Treatment Plants.  
Vesilind, P.A. (1994) The Role of Water in Sludge Dewatering, *Water Environmental Research*, **66**(1), pp. 4-11.  
W.H. Glaze, J.W. Kang, and D.H. Chapin (1987) The Chemistry of water treatment processes involving Ozone, hydrogen peroxide, and ultraviolet radiation, *Ozone Science and Engineering*, **9**(4), 335.  
Yasui H. and Shibata M. (1994) An innovative approach to reduce excess sludge production in the activated sludge process, *Wat. Sci. Tech.*, **30**(9), pp. 11-20.