

## 과산화수소 산화처리에 의한 정수슬러지의 감량화

### The Reduction of Waterworks Sludge by Hydrogen Peroxide Treatment

권재현<sup>1,\*</sup> · 김영도<sup>1</sup> · 박기영<sup>2</sup> · 이석현<sup>3</sup> · 김일규<sup>4</sup>

Kwon, Jae-Hyun<sup>1,\*</sup> · Kim, Young-Do<sup>1</sup> · Park, Ki-Young<sup>2</sup> · Lee, Seock-Heon<sup>3</sup> · Kim, Il-Kyu<sup>4</sup>

1 인제대학교 환경공학부

2 건국대학교 사회환경시스템공학과

3 한국과학기술연구원 환경공정연구부

4 부경대학교 환경공학과

(2006년 12월 19일 논문 접수; 2007년 2월 5일 최종 수정논문 채택)

#### Abstract

The effects of hydrogen peroxide treatment on the reduction of waterworks sludge were investigated in this study. Sludge treated by peroxidation ( $H_2O_2$  oxidation) was dewatered using a pressure filter at 3atm. It was observed that  $H_2O_2$  treatment at the acidic condition significantly reduce both cake water content and specific resistance to filtration (SRF), indicating the enhancement of dewaterability and filterability. The filterability by hydrogen peroxide treatment at pH 3.5 was better than acidic treatment and became comparable with polymer conditioning. The sludge filterability evaluated by SRF was optimal at a dose 2ml  $H_2O_2$ /sludge(0.02g  $H_2O_2$ /gTS) after adjusting of pH to 3.5. The  $H_2O_2$  oxidation at pH 3.5 also produced even more dewatered cake when compared with polymer conditioning. The reduction rate of sludge mass at an optimal condition showed 34% compared with untreated sludge. The effects of peroxidation on sludge properties including zeta potential, bound water and particle size were also evaluated. Peroxidation at the acidic condition reduced both bound water and zeta potential. By  $H_2O_2$  combined with sulfuric acid leached iron caused Fenton's reaction, which showed a potential to significantly reduce the amount of solids mass and to produce more compact cake with higher filterability.

**Key words:** Acidic treatment, dewatering, Fenton's reaction, hydrogen peroxide, waterworks sludge

**주제어:** 산처리, 탈수, 펜톤반응, 과산화수소, 정수슬러지

\*Corresponding author Tel: +82-55-320-3251, FAX: +82-55-334-7092, E-mail: envkwon@inje.ac.kr (Kwon, J.H.)

## 1. 서 론

슬러지는 수분과 고형분으로 구성되어 있는 고농도의 현탁액임으로 수분과 고형분 함량을 동시에 효과적으로 줄일 수 있는 방향으로 감량화 기술이 개발될 필요가 있다. 기존의 정수처리시설 내에 있는 슬러지 처리공정은 수분을 줄이는 농축, 탈수시설로 구성되어 있다. 탈수공정은 슬러지 자체가 갖고 있는 불량한 고액분리성을 고려하지 않은 채 단순히 높은 압력을 이용해 수분을 분리하는 기계적이고 물리적인 방법을 사용하고 있다. 탈수 전에 행해지는 폴리머 개량은 수처리의 화학응집기술을 이용하는 것으로 대형 플러를 형성하여 슬러지 내부 수분이 빨리 빠져나갈 수 있도록 도와주는 역할을 한다. 그러나 분리된 수분총량을 살펴보면 최종 케익 함유율이 대개 75~80% 정도로 최종 처분 측면에서 만족스럽지 못한 결과를 보여 주고 있다.

수처리의 목적은 좋은 수질을 갖는 물을 만드는 것이며 슬러지 처리의 목적은 수질에 초점이 맞춰지는 것이 아니라 슬러지내 수분을 제거하여 부피를 줄이는 것이기 때문에 엄연히 처리 목적에 큰 차이가 있다. 따라서 폴리머를 이용한 슬러지 응집처리기술이 슬러지 감량화에 얼마나 효과적인 가는 심도 있게 재평가될 필요가 있다. 슬러지내 부착수(bound water)는 고형물과 물리 화학적으로 단단히 결합되어 있기 때문에 단순히 응집에 의한 분리나 벨트프레스와 같은 기계적 방식으로 분리하기 어려운 것으로 알려져 있다. 실제 부착수는 고형분의 3.5~4배 정도로 알려져 있으며, 오히려 폴리머에 의해 플러이 형성되면서 부착수 함량은 늘어날 수도 있다(Wu et al., 1998). 또한 정수슬러지의 유기성 고형물과 친화력이 높은 수분형태는 기존의 탈수방식으로는 거의 분리가 되지 않는다.

정수슬러지의 주요 성분은 수산화알루미늄 함유

량, 유기물질 함량, 미세점도입자 비율 등이 있는데, 이와 같은 특성들이 슬러지 감량화를 위한 처리성, 농축성과 탈수성에 영향을 미친다(권 등, 2001). 응집제의 알루미늄 성분은 응집, 플러형성과정을 거쳐 탁도, 유기물질과 함께 수산화알루미늄으로 침전하는데 원수 탁도 당 알루미늄 주입량 비(ALT비)가 높을수록 슬러지 농축성과 탈수성이 불량해지기 때문에 슬러지내 수산화알루미늄 성분은 슬러지의 감량화에 큰 제약요소로 알려져 있다(권 등, 2001, 유와 조, 1996). 또한 슬러지내 유기성 고형물의 함량이 높으면 부착수가 늘어나 탈수성이 악화된다(Dulin and Knocke, 1989).

따라서 정수슬러지의 처리성을 개선하기 위해서는 슬러지내 알루미늄 함량이나 유기물질 함량을 줄일 필요가 있다. 알루미늄 함량을 줄이는 방법으로는 산 처리와 알카리처리가 있으며(이 등, 2003, Bishop et al., 1987), 유기물질 함량을 줄이는 방안으로 과산화수소를 이용해 산화처리하는 방안이 있다(Kelkar and Schafran, 1994). 과산화수소를 이용한 산화처리는 금속촉매물질( $Fe^{2+}$ )을 이용하여 강력한 산화력을 지닌  $\cdot OH$ 를 생성시켜 유기물질을 빠르게 산화시킴으로서 탈수성을 개선시킬 수 있다(Neyens et al., 2002).

본 연구에서는 정수슬러지의 탈수성을 높이기 위한 전처리로서 과산화수소 산화처리의 가능성을 조사하였다. 정수슬러지의 성장, 여과성 및 케익 함유율에 대한 영향을 pH, 과산화수소 주입량 및 반응시간의 변화에 따라 조사하였고, 적정 처리조건에서 슬러지 감량효율을 평가하였다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구의 실험재료는 낙동강 하류에 위치하는 G시 S정수장의 저류조에서 채취한 농축슬러지이며 평균값으로 Table 1과 같은 특성을 나타내었다. 본 슬러지는 원수탁도 약 15NTU에서 폴리염화알루미늄

Table 1. Properties of waterworks sludge used in this study

pH	TS(%)	VS(%)	SRF(Tm/kg)	Wc(%)	Zeta-P(mV)	Bound Water (g/gDS*)	Particle Mean Diameter( $\mu$ m)
7.05	3.47	0.75	65.6	68.3	-14.6	3.10	50.7

SRF: specific resistance to filtration, Wc: water content of cake, \* DS: dry solid

(PACl) 30ppm을 투입하여 생성된 것이다.

먼저, 정수슬러지의 과산화수소 산화처리를 적용하기 위한 적정 pH, 반응시간 및 과산화수소 주입량의 적정처리조건을 조사하였다. pH 조절은 시료 500mL에 황산(97%wt) 일정량을 투입하여 초기 pH를 변화시켰다. 황산 주입 후 슬러지와와의 교반속도는 Jar-Tester를 이용해 120rpm으로 하였으며 반응시간에 따라 pH의 변화를 측정하였다. 각각의 초기 pH 값에 있어 시간에 따라 pH의 변화가 거의 없는 시점을 반응종료시간으로 결정하였으며 이때의 pH를 반응 pH로 하였다. 반응 pH에 도달하는 시간은 사전 연구에 의해 15분 정도가 적합하였다(이 등, 2003).

황산을 주입하여 반응 pH에 도달하면 슬러지 1L 당 2ml의 과산화수소(30%wt)를 주입하여 Jar-Tester를 이용해 300rpm으로 3시간 동안 과산화수소와 슬러지가 충분히 반응할 수 있도록 교반 시킨 후 여과비저항(SRF)과 케이크 함수율(Wc)을 측정하여 적정 pH를 결정하였다. 과산화수소의 적정 반응시간은 적정 pH에서 과산화수소 2ml/L sludge를 주입하여 반응시간을 60분간 변화시켜 여과비저항을 측정하여 결정하였다. 과산화수소의 적정 주입량은 적정 pH에서 과산화수소의 주입량을 변화시켜 여과비저항과 케이크 함수율을 측정하여 결정하였다. 이상과 같이 결정된 적정 처리조건에서 부착수, 평균입경, 제타전위차, 중금속 및 TOC 등의 슬러지 특성변화를 조사하고, 과산화수소 산화에 따른 슬러지 감량 효율을 분석하였다. 본 연구에서 사용된 분석방법은 Table 2와 같다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 과산화수소 반응조건

과산화수소 산화에 있어 적정한 반응조건을 조사하기 위해 반응 pH, 과산화수소 주입량, 반응시간 등을 변화시키면서 슬러지의 SRF와 케이크 함수율을 측정하였다. 우선 적절한 반응 pH를 결정하기 위하여 슬러지에 황산 일정량을 주입하고 15분간 반응시킨 후에 반응 pH를 2~7까지 변화시키면서 과산화수소를 2ml/L sludge 주입하여 산화처리된 슬러지의 여과비저항과 케이크 함수율을 측정하였는데 그 결과는 Fig. 1과 같다. 원슬러지의 여과비저항과 케이크 함수율

Table 2. Analytical methods used in this study

Items	Analytical Methods
pH	Mettler Delta 340 pH meter
Viscosity	Brookfield Model DV-1+ Viscosimeter
SRF and Wc	Pressure filter (3atm)
Mean Diameter	Coulter LS100Q
Zeta-Potential	MALVERN社의 Zetasizer 2000
TOC	Shimadzu model TOC 5000
Bound Water	Dilatometric Method
Al and Fe	Shimadzu AA 680

은 Table 1에서 보듯이 각각  $65.6 \times 10^{12} \text{m/kg}$ , 68.3%이었는데 산처리 없이(pH 7) 과산화수소만 단독으로 투입한 경우는 각각  $49.9 \times 10^{12} \text{m/kg}$ , 67.1%로 여과비저항은 24% 감소한 반면, 케이크 함수율은 큰 변화가 없었다. 그러나 산처리로 pH가 낮은 조건에서 과산화수소의 투입은 여과비저항과 케이크의 함수율을 크게 감소시켜 pH 3.5에서 여과비저항이 최저값을 보였는데 이때의 여과비저항은  $10.5 \times 10^{12} \text{m/kg}$ 로 원슬러지에 비해 84% 감소하였고, 케이크 함수율은 57.2%로 원슬러지에 비해 11%나 감소하였다. 이후로 pH가 낮아지면 탈수 케이크의 함수율은 계속 감소하지만 여과비저항은 오히려 증가하였다. 따라서 두 가지 탈수성 지표를 기준으로 볼 때 과산화수소 단독 처리보다는 산처리와의 병합처리를 통해 pH를 낮추는 것이 효과적이며 본 연구결과에서는 pH 3.5가 적절한 것으로 판단되었기에 이후의 실험은 pH 3.5로 고정하여 진행시켰다.

과산화수소와 슬러지의 적절한 반응시간을 알아보기 위해 1L의 슬러지를 일정한 속도(300rpm)로 교반

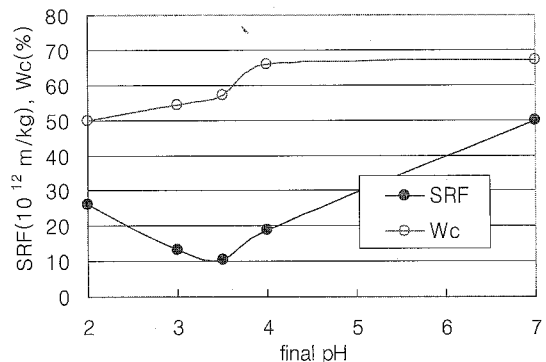


Fig. 1. Variation in SRF and Wc with final pH at a fixed dose of  $\text{H}_2\text{O}_2$ .

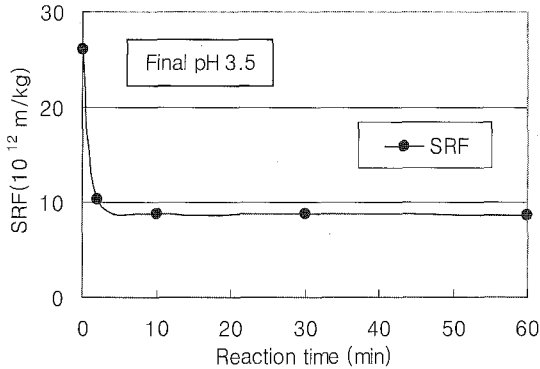


Fig. 2. Variation in SRF with reaction time at a fixed dose of  $H_2O_2$ .

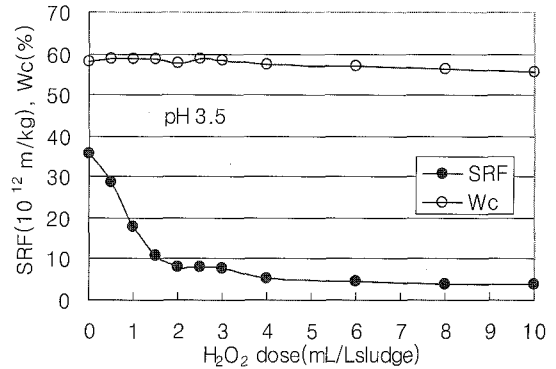


Fig. 3. Variation in SRF and Wc at different  $H_2O_2$  dose.

시키면서 최종 pH는 3.5, 과산화수소는 2ml/L sludge로 주입하여 1시간 동안 반응시키면서 시간변화에 따라 시료의 여과비저항을 측정하여 Fig. 2에 나타내었다. 그림에서 나타나듯이 10분 이후로는 여과비저항 값이 변화가 없었는데 이는 과산화수소의 반응속도가 빨라 10분 이내에 거의 모든 반응이 종료됨을 의미한다. Kelkar and Schafran(1994)은 정수슬러지 처리를 위해 과산화수소를 적용하였는데, 슬러지 1L에 과산화수소 일정량을 주입하여 급속교반 1분, 완속교반 10분으로 하여 실험하였다. 따라서 과산화수소의 산화 반응은 10분 이내의 짧은 시간에 이루어지는 것을 알 수 있다.

다음은 과산화수소 주입량의 영향을 알아보았는데, 슬러지의 최종 pH는 3.5, 반응시간은 10분으로 고정시키고 과산화수소의 주입량을 변화시키면서 여과비저항, 탈수 케이크의 함수율을 측정하여 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 X축의 0의 값은 pH를 3.5로 낮춘 뒤 과산화수소를 주입하지 않은 경우로서 산처리만 실시하였음을 의미한다. Fig. 3의 탈수 케이크 함수율 그래프로부터, pH 3.5에서 과산화수소의 주입량을 증가시키면 케이크 함수율이 다소 감소하였지만 큰 변화가 없었다. 하지만 여과비저항은 과산화수소 주입에 따라 크게 감소하였는데 pH 3.5에서 과산화수소를 주입하지 않은 경우의 여과비저항은  $35.7 \times 10^{12}m/kg$ 이었지만 과산화수소의 주입량을 증가시키면 따라 여과비저항의 값은 점점 감소하여 2ml/L sludge일 때  $8.0 \times 10^{12}m/kg$ 를 나타내었다. 그러나 그 이후로 과산화수소의 주입량을 증가시키더라도 여과비저항 값은 큰 변화가 없었다. 따라서 과산화수소의

적정 주입량은 2ml/L sludge로 판단되며, 본 연구에 사용된 슬러지의 고형물 농도와 과산화수소의 농도를 이용해 슬러지 고형물 기준으로 환산하면 0.02g/gTS에 해당된다.

### 3.2. 슬러지 특성 변화

과산화수소 산화처리에 의한 정수슬러지의 성상변화를 파악하기 위해 탈수성의 주요 영향인자인 부착수 함량, 제타전위차, 평균입경을 측정하여 그 결과를 Fig. 4와 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 X축의 Raw는 원슬러지를 측정한 값이고, 0은 원슬러지에 황산을 주입하여 pH를 3.5로 낮춘 뒤 과산화수소를 주입하지 않은 경우이다. Fig. 4를 살펴보면, 원슬러지의 부착수 함량은 3.10g/gDS이었고, pH를 낮춤으로써 부착수의 함량은 상당히 감소하였으며, 여기에서 과산화수소를 주입함에 따라 다소 낮아지는 경향을 보이다가 과산화수소의 주입량이 2~3mL일 때

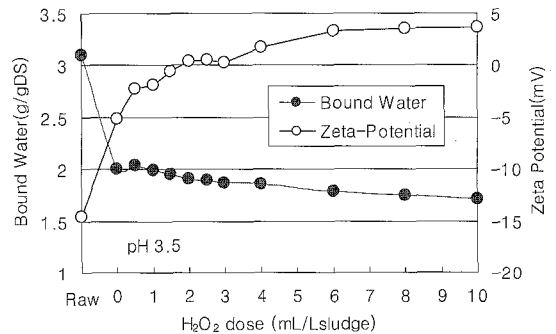


Fig. 4. Variation in bound water and zeta-potential at different  $H_2O_2$  dose.

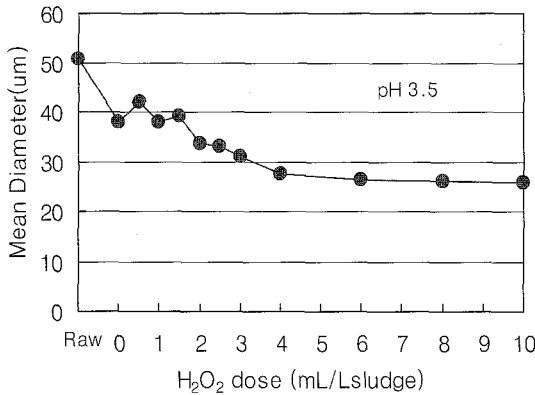


Fig. 5. Variation in particle size at different H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dose.

약 1.9g/gDS로 나타났고, 그 이후 과산화수소의 주입량을 증가시키더라도 크게 감소하지는 않았다. 제타전위차는 원슬러지가 -14.6mV였는데 pH를 3.5로 낮춘 경우는 -5.1mV로 개선되었으며, 여기에 과산화수소를 주입함에 따라 제타전위차는 더욱 감소하여 과산화수소의 주입량이 1.5~3mL일 때는 거의 0에 가까운 등전하를 보이고 있다. 그 이후 과산화수소의 주입량을 늘이면 제타전위차는 양전하를 띄게 된다. 평균입경 변화를 살펴보면 Fig. 5에서 보는 바와 같이 원슬러지의 평균입경은 50.74um이었고 pH를 낮춘 뒤 과산화수소를 주입함에 따라 슬러지의 평균입경은 전체적으로 감소하는 경향을 보였다.

이상의 결과를 볼 때 산처리와 과산화수소의 병합 처리에 의한 슬러지 탈수성 향상의 원인이 슬러지 고형물 혹은 플럭의 부착수 함량과 표면전하의 감소에 있다는 사실을 알 수 있다. Pere 등(1993)은 펜톤시약을 사용한 산화처리에서 플럭의 표면전하 감소와 소수성(hydrophobicity) 증가 현상을 보고한 바 있는데, 낮은 pH에서 과산화수소 산화처리로 부착수 함량이 감소되는 본 연구결과는 슬러지내 플럭의 소수성 증가와 플럭 파괴로 인해 내부에 갇혀 있던 부착수의 일부가 유출된 것으로 설명될 수 있다.

Fig. 6은 과산화수소 주입량에 따라 수중에 존재하는 알루미늄, 철, TOC의 농도 변화를 분석한 결과이다. 알루미늄과 TOC의 용출은 슬러지의 탈수성과 감량화에 영향을 미치는데(이 등, 2003), 원슬러지의 상등액에 존재하고 있는 미량의 알루미늄과 TOC는 pH를 3.5로 낮춤으로써 각각 약 2,000mg/L, 500 mg/L까지 용출되었다가 그 후 과산화수소를 주입해

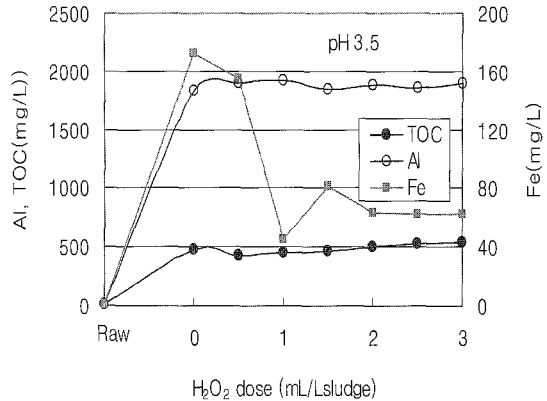
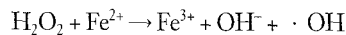


Fig. 6. Released Al, TOC and Fe at different H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dose.

도 농도 변화가 거의 없었다. 철의 경우도 산처리(pH 3.5)를 통해 슬러지내 철 성분이 용출되어 173mg/L의 철이 용존상태로 존재하였다. 그러나 여기에 과산화수소를 가하면 철은 약 60mg/L까지 감소하였는데, 이는 아래 식과 같은 펜톤반응이 발생했음을 의미한다. 펜톤반응은 산성 pH에서 철(II)이온과 과산화수소를 조합하면 OH 라디칼과 같은 강력한 산화력을 지닌 물질을 발생시키는 반응이다. 이와 같은 펜톤반응에 의한 강력한 산화력이 슬러지내 알루미늄을 용출시키고, 유기성 고형물을 산화, 파괴시킴으로서 탈수성이 개선될 수 있다(Lu et al., 2003). 이 사실은 Fig. 6의 과산화수소 주입에 따른 철농도의 감소 형태와 Fig. 3에서 여과비저항의 감소 형태가 유사하다는 사실에서도 확인될 수 있다.



Kelkar and Schafran(1994)은 정수슬러지에 과산화수소를 첨가함으로써 유기물을 부분적으로 산화시켜 탈수성을 증가시키는 결과를 보였지만 모든 슬러지에서 동일한 결과를 얻을 수는 없다고 하였다. 이는 슬러지내 철 함량의 차이에서 기인한 것으로 과산화수소의 산화력을 증가시켜 탈수성을 개선하기 위해서는 철 농도가 중요한 인자임을 제시하였다.

### 3.3. 슬러지 감량화 평가

먼저 각각의 전처리 조건에서 시간에 따른 탈수 여액량의 변화를 측정하여 Fig. 7에 나타내었다. 시간에 따른 탈수 여액량의 측정은 슬러지 50mL을 가압여과

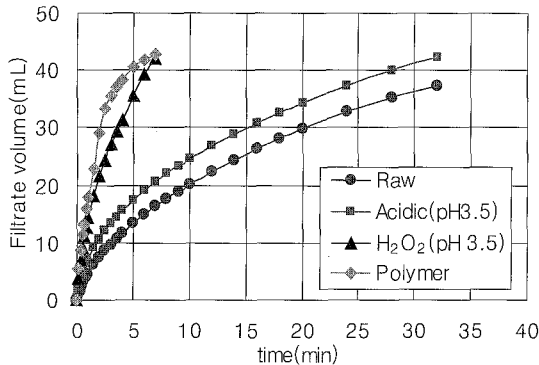


Fig. 7. Filtrate volume versus time at different treatment condition.

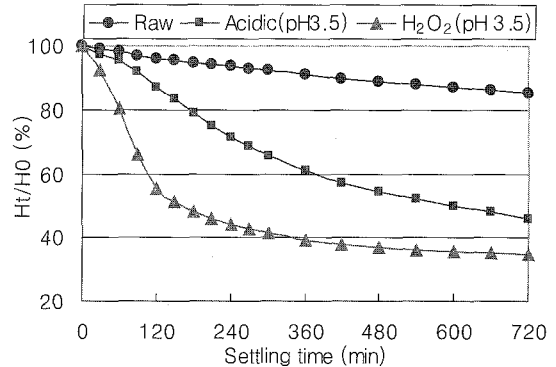


Fig. 8. Interface height versus settling time at different treatment condition.

탈수기에 넣고 가압장치를 이용하여 3기압을 유지하면서 시간에 따라 탈수되는 여액량을 측정하였다. 슬러지의 50%가 탈수되는 시간을 살펴보면, 원슬러지는 약 14분 정도였으며, 황산을 주입하여 pH를 3.5로 낮춘 경우는 10분 정도였고, pH를 3.5로 낮춘 뒤 과산화수소를 2mL 주입한 경우는 약 3분 정도로 나타났다. 폴리머를 이용하여 슬러지를 개량한 경우는 이보다 약간 빠르게 나타났다. 원슬러지에 비하여 pH를 3.5로 낮춘 경우는 약 4분 정도 빨랐으며 pH를 3.5로 낮춘 뒤 과산화수소를 주입한 경우는 원슬러지보다 탈수 시간이 1/4 이하로 감소됨을 알 수 있다. 일반적으로 정수장에서 슬러지를 처리하는 방법인 폴리머 개량과 비교해서는 같은 시간대에 탈수되는 여액량은 큰 차이를 보이지는 않았다. 이것으로 pH 3.5에서 과산화수소의 산화처리는 탈수성 개선에 상당히 효과가 있음을 재차 확인할 수 있다.

Fig. 8은 원슬러지, 산처리(pH 3.5) 그리고 과산화수소 처리(2mL/L, pH 3.5)에 있어 침전시간에 따른 계면 높이를 나타내었다. 시료를 전처리 하여 500 mL 메스실린더 넣고 12시간 동안 침전시키면서 시간에 따른 계면 높이를 측정하였다. 초기 침전속도를 알아보기 위해 측정 시작 후 5시간까지는 30분 간격으로 측정하였고, 5시간 이후로는 1시간 간격으로 측정하였다. 원슬러지는 측정 시작부터 끝까지 거의 일정한 속도를 유지하였고 그 침전성은 매우 불량하였다. 산처리하는 원슬러지 보다는 침전성이 많이 향상되었으며, 과산화수소 산화처리 시 침전성은 원슬러지에 비해 초기 2시간 정도까지 매우 빠른 침전속도를 나타내고 있다. 과산화수소 산화처리로 슬러지의 고

액분리성이 매우 향상됨을 알 수 있다. 전술한 대로 펜톤반응에 의한 강력한 산화력이 슬러지내 알루미늄을 용출시키고, 유기성 고형물을 산화, 파괴시킴으로써 슬러지의 탈수성과 침강성이 개선된 것으로 판단된다.

본 실험에서의 과산화수소 산화처리에 의한 탈수성과 감량화 효율을 평가하여 Table 3에 나타내었다. Table 3은 슬러지처리 시 일반적으로 사용되는 폴리머 개량과 산처리, 산화처리 각각을 건 케이크 질량, 습 케이크 질량, 여과비저항, 탈수 케이크 함수율의 항목으로 나타내었다. 폴리머의 주입량은 사전실험을 행하여 가장 탈수성이 양호했던 0.005g/gTS로 주입하였으며, Table 3의 건 케이크 질량과 습 케이크 질량의 단위는 미처리 슬러지의 가압탈수 시 발생하는 케이크의 질량에 대해 전처리 후 탈수 시 발생하는 케이크 질량의 비로 나타내었다. 폴리머 개량에 의해 발생하는 건 케이크 질량비는 1.02였고, 습 케이크 질량비는 1.38이었다. 여과비저항은  $5.29 \times 10^{12} \text{m/kg}$  이었고, 케이크의 함수율은 76.56%이었다. 기존 폴리머 개량의 특징으로 탈수성은 원슬러지에 비해 굉장히 양호해지지만 탈수 후 발생하는 케이크의 함수율은 다소 높게 나타났다. 산처리의 건 케이크 질량비는 0.88, 습 케이크 질량비는 0.66으로 나타났고, 여과비저항은  $35.68 \times 10^{12} \text{m/kg}$ , 이때의 탈수 케이크 함수율은 58.22%이었다. 산처리의 특징은 미처리 슬러지보다 탈수케이크 함수율이 약 10% 정도 낮아짐에 따라 케이크 발생량은 감소하지만 탈수속도 측면에서 폴리머 개량과 비교했을 때 불량하다. 과산화수소에 의한 산화처리 시(0.02g/gTS) 발생하는 건 케이크

**Table 3.** Summary of the variation in dewaterability and the amount of sludge

Treatment conditions	Characteristics				
	SRF		Wc(%)	Wet Cake (g/g raw)	Dry Cake (g/g raw)
	(10 <sup>12</sup> m/kg)	Reduction(%)			
Raw Sludge	65.6	-	68.3	1.00	1.00
Polymer Conditioning	5.29	91.9	76.6	1.38	1.02
no H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> , pH 3.5	35.7	45.6	58.2	0.66	0.88
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0.02g/gTS, pH 3.5	7.99	87.8	57.6	0.66	0.88
H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 0.04g/gTS, pH 3.5	5.35	91.9	57.4	0.65	0.88

크 질량비는 0.88, 습 케이크 질량비는 0.66이었고, 여과비저항은  $7.99 \times 10^{12}$ m/kg, 이때의 케이크 함수율은 57.64%였다. 폴리머 개량과 유사한 탈수속도를 가지면서 높은 감량효율을 나타내었다.

Neyens 등(2002)의 연구결과에 따르면 과산화수소와 철이온(Fe<sup>2+</sup>)의 적정 주입량은 슬러지 100ml 당 각각 0.037g, 1mg 정도이며, 이때의 반응 pH는 3이 적당하다고 하였다. 이 조건하에서 기계적인 탈수성은 매우 향상되었으며, 건조고형물 발생량은 초기 미처리 시 발생량의 약 80% 정도였다. 이상의 연구결과를 볼 때 낮은 pH 조건에서 슬러지를 과산화수소를 이용해 산화처리하면 폴리머 개량과 유사한 탈수속도를 가지면서 저함수율의 케이크를 생산할 수 있고 케이크내 고형분 함량도 감소시킬 수 있을 것으로 보여 과산화수소 산화처리가 슬러지 감량화에 효과적인 기술로 평가될 수 있다.

#### 4. 결 론

산성조건에서의 과산화수소 산화처리는 정수슬러지의 침강성과 탈수성을 개선시키고 슬러지 발생량을 크게 감소시켰으며 보다 건조한 케이크를 배출시켰다. 정수슬러지의 pH를 3.5로 낮추어 과산화수소를 0.02g/gTS(2ml/l sludge) 주입하게 되면 폴리머 개량과 유사한 탈수속도를 가지면서 원슬러지의 케이크 함수율에 비해 약 10% 정도 낮은 함수율을 갖는 케이크를 생성시키며 케이크 내 고형물 질량도 12% 감소시켜 전체적으로 습케이크 발생량을 34% 줄일 수 있었다. 이와 같은 감량효율은 산성조건에서 슬러지에서 용출된 철성분이 투입된 과산화수소에 의해 펜톤 산화 반응을 일으켜 슬러지 고형물의 표면특성이 변

화되어 부착수 함량이 감소하고 표면전하가 줄어들기 때문임이 본 연구를 통해 확인할 수 있었다.

#### 감사의 글

본 연구는 2004년 인제대학교 학술조성연구비에 의해 수행되었기에 감사를 표합니다.

#### 참고문헌

1. 권재현, 구석본, 류성호 (2001) 정수슬러지의 계절별 탈수성 비교, *상하수도학회지*, 15(1), pp. 58~63.
2. 이병문, 권재현, 안규홍, 이석현, 권대영 (2003) 산처리에 의한 정수슬러지 감량화, *상하수도학회지*, 17(1), pp. 34~42.
3. 유명진, 조용모 (1996) *상수처리*, 동화기술, pp. 191~218.
4. Bishop M.M., Rolan A.T. Bailey T.L. and Cornwell D.A. (1987) Testing of Alum Recovery for Solids Reduction and Reuse, *Jour. AWWA*, pp. 76~83.
5. Dulin B.E. and Knocke W.R. (1989) The Impact of Incorporated Organic Matter on the Dewatering Characteristics of Aluminum Hydroxide Sludge, *Jour. AWWA*, pp.74~79.
6. Kelkar U.G. and Schafran G.C. (1994) Hydrogen Peroxide Amendments to Alum Sludge; Effects on Sludge Characteristics and Dewaterability, Proceedings of AWWA Conference.
7. Lu, M.C., Lin, C.J., Liao, C.H., Huang, R.Y. and Ting, W.P. (2003) Dewatering of activated sludge by Fenton's reagent, *Advances in Environmental Research*, 7(3), pp. 667~670.
8. Neyens E., Baeyens J., Weemaes M. and Heyder B.D. (2002) Advanced Biosolids Treatment Using H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Oxidation, *Environmental Engineering Science*, 19(1), pp. 27~35.
9. Pere J., Alen R., Viikari L. and Eriksson L. (1993)

- Characterization and dewatering of activated sludge from the pulp and paper industry, *Wat. Sci. Tech.*, **28**(1), pp. 193 ~ 201.
10. Wu, C.C., Huang, C. and Lee, D.J. (1998) Bound water content and water binding strength on sludge flocs, *Wat. Res.*, **32**(3), pp. 900 ~ 904.