고효율 포기 시스템을 이용한 유기성 슬러지의 감량화

오세배*, 이상혁**

Reduction of Organic Sludge using High Efficiency Aeration System(HEAS)

Sea-Bae Oh*, Sang-Houck Lee**

요 약 한국에서 오염물 해양투기는 하수슬러지 처리방식으로 널리 사용되어 왔다. 하지만 2009년 이후 적용되어 온 음식폐기물과 하수슬러지의 해양투기 오염 방지에 관한 런던 협약에 따라 2013부터 엄격한 법적 제재가 예상된다. 따라서, 고농축 유기 슬러지 처리를 위한 고효율 포기 시스템을 사용한 현장 실험실 테스트가 하수 및 산업폐수처리장에서 적용이 되었다. 연구 결과는 고효율 포기 시스템이 유기성 슬러지의 감량화에 매우 유용한 것으로 나타났으며, 구체적인 결과는 다음과 같다. 첫째로 고효율 포기 시스템을 이용한 슬러지 소화시 유기물 제거율은 56.2 ~ 85.8 %이었다. 이러한 결과가 일반 하수 처리효율보다 낮지만, 고효율 포기 시스템의 처리대상 슬러지가 공장 폐수임을 고려할 때 매우 유용한 것으로 판단된다. 둘째로 슬러지 평균 제거 효율은 약 25.2 %이었다. 셋째로 고효율 포기 시스템에 의한 슬러지 처리비용에 효과적으로 기여할 수 있는 것으로 드러났다. 특히, .고효율 포기 시스템이 높은 고농도 슬러지를 함유하거나, 산업폐기물이거나 고농도의 강열잔류 고형물(FS) 포함되어 있는 경우의 소규모 하수 및 폐수 처리장의 현장 처리에 더욱 효과적이다.

주제어 : 런던협약, 해양투기, 고효율 포기 시스템, 슬러지 감소, 처리성 평가시험

Abstract In Korea, ocean dumping has been widely used as the ultimate disposal of sewage sludge. However, ocean dumping of food wasted and sewage sludge from 2013 is expected to legally restricted as London convention on marine pollution prevention has been effective in 2009.

This research aims to examine the effect of HEAS in treating the environmental pollution load caused by organic high concentrated sludge. Thus, onsite laboratory scale treatability test using HEAS was adopted to treat the high concentrated organic sludge from sewage and industrial wastewater treatment plant.

The research results showed that the HEAS is useful to reduce the environmental pollution caused by organic high concentrated sludge. Specific results are as follows.

1. The organic removal after the sludge digestion using the high efficiency aeration system was 55.2-85.8%. Although these results were lower than those from the general sewage treatment, the high efficiency aeration system could be evaluated as efficient, considering the object sludge contained the industrial waster water.
2. The average removal efficiency was about 25.2%.
3. It was revealed that sludge digestion by the high efficiency aeration system could effectively contribute to the sludge treatment cost. Especially, the high efficiency aeration system is more applicable to the onsite treatment of small sewage and wastewater treatment plant that contains high solid content sludge, industrial wastewater sludge, high fixed solid sludge

Key Words : London convention, ocean dumping, High Efficiency Aeration System, sludge reduction, Treatability test

*호서대학교 벤처전문대학원 보건환경학과 박사과정
**호서대학교 벤처전문대학원 보건환경학과 교수(교신저자)
논문접수: 2012년 10월 30일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2012년 11월 20일

1. 서론

1914년 영국의 Arden과 Lockett에 의해 개발된 활성슬러지공법(Activated sludge process)은 지난 100년간 구미제국만이 아니라, 모든 나라의 하수와 폐수처리를 위한 기본처리법이 되어왔다[6,20,21]. 우리나라의 경우에도 대부분의 도시하수처리장과 공장폐수처리시설로 적용되고 있다[10].

하수와 폐수중의 유기물과 고형물질, 그리고, 영양물질 등은 미생물을 배양한 포기조에서 미생물의 호기성 산화에 의해 미생물세포로 합성되면, 최종적으로 침전지에서 미생물 세포덩어리인 슬러지(sludge)상태로 침전, 제거되게 된다. 결국 하·폐수중의 오염물질은 슬러지상태로 제거되게 되는데, 이때의 슬러지는 고농도의 세포덩어리이므로 유기물함량과 수분함량이 매우 높으므로 적절히 처리하지 않으면 환경적으로 중대한 영향을 미칠 수가 있다[1,20].

그리하여 적절한 슬러지처리는 오염물질을 환경적으로 안정화시키고, 슬러지의 고형물함량을 감소시킴으로서 적절한 최종처분에 의해 하·폐수가 완결된다고 볼 수가 있다.

우리나라의 경우, 전국 470개의 하수처리시설에서 연간 3,080,043㎥의 하수슬러지가 발생되었으며, 그 중 해양배출로 처리되는 양이 1,314,087㎥ (42.7%)으로 가장 많은 것으로 나타났다. 이 밖에 소각 544,592㎥(17.7%), 재활용 635,318㎥(20.6%), 육상매립 337,966㎥(11.0%) 등으로 처리되는 것으로 나타났다[10, 11]. 그러나, 슬러지의 해양투기는 오염원을 육상에서 해양으로 옮겨놓는 현 문제는 이제 국제적 이슈로 등장하고 있는 실정이다[9,12]. 특히 우리나라도 2009년 폐기물 및 기타 물질의 투기에 의한 해양 오염 방지에 관한 협약인 런던협약에 관한 의정서에 가입하였고, 2013년부터 음식물폐기물과 폐수와 하수슬러지에 대한 해양투기가 광범위하게 규제될 예정이다[8,13].

이와 같이 우리나라와 같이 발생되는 슬러지의 상당량을 현실적으로 해양투기에 의존하고 있는 실정에서 슬러지를 감량화하기 위한 연구와 노력이 절실히 요구되는 상황이며, 국가 및 지자체, 산업체, 그리고, 학계 등에서도 지속적인 연구가 진행되고 있는 실정에 있다[14,15,16].

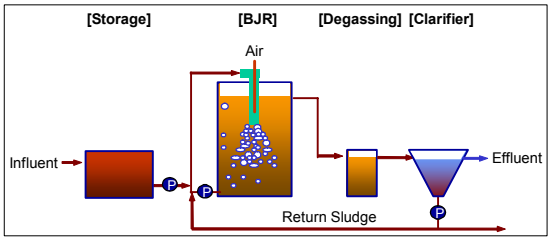
본 연구에서는 슬러지의 안정화와 감량화를 위한 적절한 현장처리를 위하여 고농도의 유기물 부하와 질소물질 부하 등에 강하고, 효율적인 처리가 가능한 고효율 포기시스템 반응조를 적용하고자 시도하였다[27]. 고효율 포기시스템 반응조는 재래식 활성슬러지공법의 포기조내 포기시스템을 획기적으로 개선한 공법으로 독일의 Vogelpohl교수 등에 의해 개발되어 COD 용적부하율 120kg/㎥·d까지 운전하였으며, Brauer교수는 COD 용적부하율 800kg/㎥·d까지 운전하는 등 고농도의 오염부하에 적합한 처리방법이다[22, 23, 26]. 고효율 포기시스템 반응조의 기본적인 원리는 생물학적 처리시 세균에 의한 유기물의 제거는 세균표면으로 전달되는 물질전달에 의해 제한되므로 제트노즐을 이용하여 반응조내 수중의 산소전달 및 기질의 전달을 향상시킴으로서 효과적인 폐수처리를 가능하게 하는 방법이다.[25,28] 국외 및 국내에 있어서 음식물폐수, 도시폐기물 매립지침출수, 축산폐수, 화학공장폐수, 피혁폐수 등 다양한 폐수에 적용되어 왔다[2,4,5,24].

그리하여 본 연구에서는 고농도의 유기성슬러지에도 적용이 가능한 고효율 포기 시스템을 이용하여 도시하수처리장에서 발생하는 하수보다 처리가 어려운 폐수 처리장의 고농도 유기성슬러지의 처리성 평가시험(Treatability test)를 수행함으로서 현재 중요한 현안으로 대두되고 있는 하·폐수처리장의 유기성슬러지로 인한 환경오염부하를 실질적으로 절감해 보고자 한다.

2. 본론

2.1 실험장치 및 운전조건

고효율 호기성 소화조인 고효율 포기시스템을 실험실규모(Laboratory Scale)의 실험을 현장에서 실시하였다. 실험에 사용된 반응조는 직경 0.2(m) 높이 2.5(m) 부피 78.5(L)를 3개의 반응조를 사용하였고, 고효율 반응조의 내부순환을 위해서 2.1L/min, 3m(H)의 순환펌프를 이용하였다. 송풍기는 200L/min, 0.2kg/㎠를 이용하였으며, 유입슬러지는 슬러지 저장조에 정량펌프를 설치하여 주입하였다. 전체적인 반응조는 다음 [Fig. 1]과 같고, 전체 운전기간은 약 3개월간 3개의 반응조를 대상으로 온도별(상온(15℃), 25℃, 35℃), 부하별(5kg·VSS/㎥·d, 10kg·VSS/㎥·d)로 실험을 수행하였다.



[Fig. 1] 고효율 포기 시스템의 처리계통도

고효율 포기시스템을 이용한 호기성 소화의 운전조건은 다음 <표 1>과 같다.

〈표 1〉 고효율 포기 시스템의 운전조건

Parameter	5kg·VSS/㎥·d			10kg·VSS/㎥·d
Temp(℃)	15	25	35	35
HRT(day)	1.28	1.28	1.28	0.64

2.2 수질 및 슬러지성상 분석방법

고효율 포기시스템을 이용한 유기성슬러지의 처리성 평가를 위하여 수질 및 슬러지의 성분분석을 수행하였다. 수질분석은 T폐수처리장에서 실제 발생한 유기성슬러지를 대상으로 적용한 고효율 포기 반응조의 유입수(influent)와 유출수(effluent)를 채취하여 수질 및 슬러지의 특성을 분석하였다.

주요 수질분석 항목은 BOD 등 6개 항목에 대해서는 우리나라의 수질오염공정시험법과 폐기물공정시험법에 의거하여 분석하였으며[17,18], CODCr은 미국의 Standard Method에 의거하여 분석하였다[29].

3. 결과 및 고찰

3.1 유기성슬러지 분석결과

실험에 사용된 슬러지는 산업단지지역의 공장폐수와 생활오수를 혼합하여 생물학적으로 처리한 2차 침전지에서 발생한 슬러지로서 구체적인 슬러지의 주요 성상은 다음 <표 2>와 같다.

<표 2>에서 보듯이 본 처리대상 슬러지의 분석결과, BOD_5 5,980-10,850 mg/L, COD_{Cr} 18,900-36,700 mg/L, COD_{Mn} 5,120-11,720 mg/L, FS 4,800-8,410 mg/L, VS 4,480-9,100 mg/L, TS 9,280-17,510 mg/L 범위로서, 평균은 각각 BOD_5 7,986 mg/L, COD_{Cr} 26,849 mg/L, COD_{Mn} 8,987 mg/L, FS 6,398 mg/L, VS 6,333 mg/L, TS 12,731 mg/L 인 것으로 나타났다. 슬러지의 COD_{Cr}/BOD_5가 2.96로서 일반하수처리장 하수의 COD_{Cr}/BOD_5 2.5보다 큰 것으로 나타났다. 그리고 슬러지중 VS/TS비는 0.51로서 일반적인 도시하수처리장 슬러지의 VS/TS비인 0.6-0.8보다 낮은 것으로 나타났다[20]. 이것은 단지내 공장폐수의 유입으로 인한 영향인 것으로 판단된다.

〈표 2〉 유기성 슬러지 분석결과

성상	범위(mg/L)			평균(mg/L)
pH	5.9	-	8.0	7.0
BOD_5	5,980	-	10,850	6,523
COD_{Mn}	5,120	-	11,720	8,420
COD_{Cr}	18,900	-	36,700	19,295
FS	4,800	-	8,410	6,605
VS	4,480	-	9,100	6,790
TS	9,280	-	17,510	13,395

3.2 슬러지의 유기물제거특성

고효율 포기시스템을 이용한 15℃에서의 슬러지 소화시 유기물제거를 확인한 결과, <표 3>에 나타난 바와 같이 유기물지표인 생물화학적 산소요구량(BOD) 제거율은 80.3%, 화학적 산소요구량(COD_{Mn})은 55.3%, 화학적 산소요구량(COD_{Cr})은 47.1% 인 것으로 나타났다. 이 점은 일반 하수처리장슬러지의 생물화학적 산소요구량 제거율이 보통 90%인 것과 비교하여 낮은 것으로 나타나고 있으나, 이것 또한 슬러지성상에서 살펴보았듯이 공장폐수의 영향인 것으로 판단된다. 그렇지만, 슬러지내 유기물제거를 통하여 슬러지의 안정화가 상당부분 이루어졌음을 확인할 수가 있었다.

3.3 슬러지의 고형물제거특성

고효율 포기시스템을 이용한 슬러지 소화시 슬러지 감량화를 확인하기 위하여 슬러지고형물 제거율을 비교해본 결과, <표 4>에 나타난 바와 같이 15℃에서의 FS 제거율은 18.9%, VS 제거율은 27.3%, TS 제거율은 23.1%인 것으로 나타났다. 평균적으로 23% 전후의 슬러지 감량화를 나타내고 있다.

〈표 3〉 고효율 포기시스템에 의한 슬러지의 유기물제거

구분	BOD_{Inf} (mg/L)	BOD_{Eff} (mg/L)	BOD 제거율(%)	COD_{MnInf} (mg/L)	COD_{MnEff} (mg/L)	COD_{Mn} 제거율(%)	COD_{CrInf} (mg/L)	COD_{CrEff} (mg/L)	COD_{Cr} 제거율(%)
범위	5,980 - 10,850	1,010 - 2,320	71.9 - 86.5	5,120 - 11,720	2,330 - 5,710	37.1 - 63.5	18,900 - 36,700	10,310 - 20,160	43.6 - 53.9
전체 평균	7,986	1,581	80.2	8,987	4,016	55.3	26,849	14,200	47.1

〈표 4〉 고효율 포기시스템에 의한 슬러지의 고형물제거

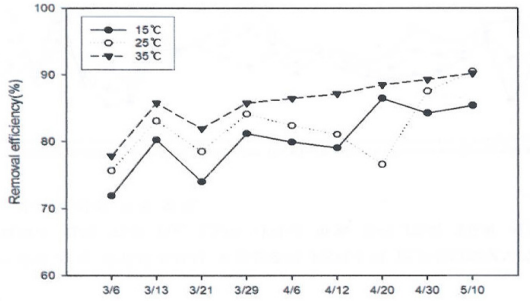
구분	FS_{Inf} (mg/L)	FS_{Eff} (mg/L)	FS 제거율(%)	VS_{Inf} (mg/L)	VS_{Eff} (mg/L)	VS 제거율(%)	TS_{Inf} (mg/L)	TS_{Eff} (mg/L)	TS 제거율(%)
범위	4,800 - 8,410	37,40 - 6,810	9.1 - 26.2	4,480 - 9,100	3,610 - 5,650	13.4 - 39.8	9,280 - 17,510	7,350 - 12,460	11.7 - 33.0
전체 평균	6,398	5,188	18.9	6,323	4,596	27.3	12,721	9,783	23.1

3.4 반응조의 온도영향분석

슬러지의 소화는 크게 슬러지의 생물학적 분해에 의한 안정화와 슬러지내 고형물의 함량을 감량화하기 위한 것이다. 고효율 포기시스템을 이용한 슬러지 소화시 반응조의 계절별 특성을 살펴보기 위하여 반응조의 온도변화에 따른 유기물과 고형물의 변화과정을 나타낸 것이다.

일반적으로 생물학적 공법의 경우 미생물에 의한 반응이기 때문에 반응조의 온도에 따른 영향이 매우 큰 것으로 나타나고 있다. 본 실험결과에서도 미생물대사와 마찬가지로 온도에 상승함에 따라 유기물과 고형물의 제거효과가 증가하는 것으로 나타나고 있다.

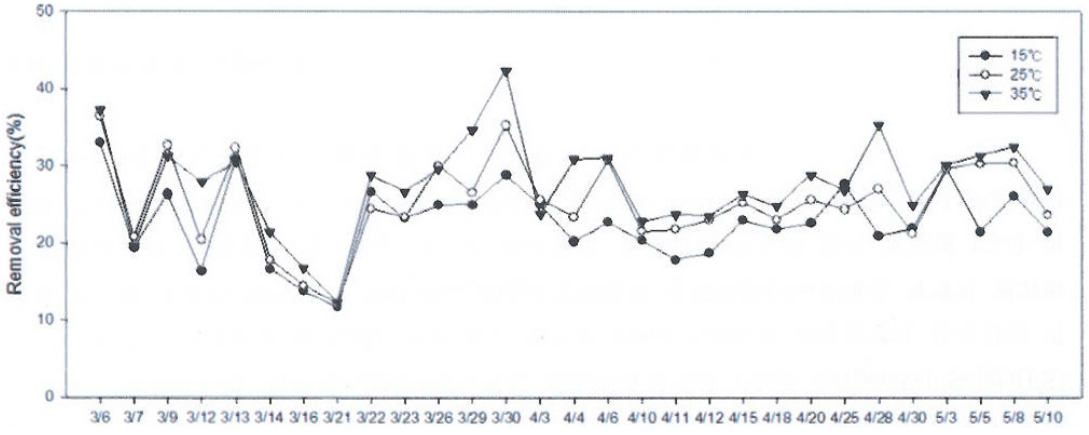
[Fig. 2]에서 보듯이 고효율 포기시스템에서의 온도에 따른 유기물제거효과는 BOD_5는 15℃에서 80.3%, 25℃에서 82.2%, 35℃에서 85.9%로서 7.0% 정도 상승하는 것으로 나타났으며, COD_{Mn}은 15℃에서 57.1%, 25℃에서 57.1%, 35℃에서 59.6%로서 4.2% 정도 상승하는 것으로 나타났고, CODCr은 15℃에서 47.1%, 25℃에서 47.8%, 35℃에서 49.0%로서 3.3% 정도 상승하는 것으로 나타났다. 또한 온도상승에 따른 제거효과는 $BOD_5 > COD_{Mn} > COD_{Cr}$ 순서로 나타났듯이 상대적으로 생물분해가 용이한 유기물성분이 온도에 따른 영향도 높은 것으로 나타나고 있다.



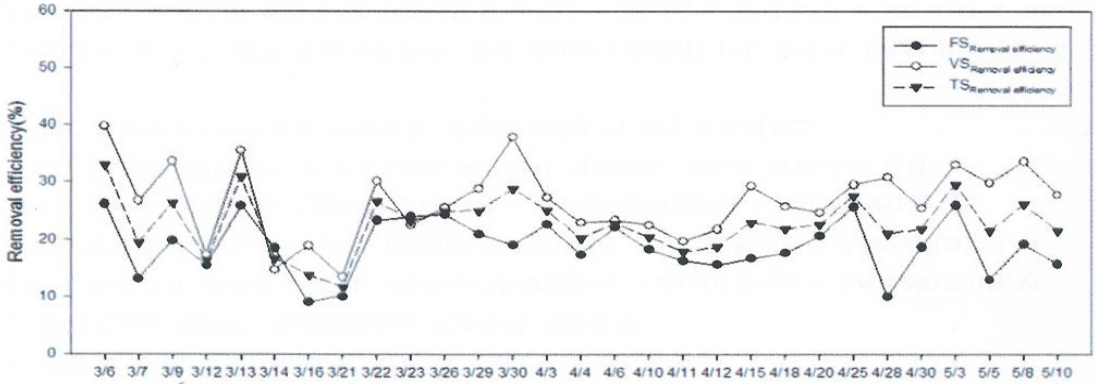
[Fig. 2] 고효율 포기시스템에 의한 온도에 따른 유기물제거 (BOD5)

[Fig. 3]에서 보듯이 고효율 포기시스템에서의 온도에 따른 고형물제거효과는 FS제거율이 15℃에서 18.8%, 25℃에서 21.0%, 35℃에서 23.7%로서 4.9% 정도 상승하는 것으로 나타났으며, VS는 15℃에서 26.7%, 25℃에서 29.6%, 35℃에서 31.7%로서 5.0% 정도 상승하는 것으로 나타났고, TS는 15℃에서 22.7%, 25℃에서 25.3%, 35℃에서 27.7%로서 5.0% 정도 상승하는 것으로 나타났다. 또한 온도상승에 따른 제거효과는 VS = TS > FS 순서로 나타났으나, 고형물의 경우에도 온도에 따른 영향은 큰 차이가 없는 것으로 나타나고 있다.

고효율포기시스템에 의한 슬러지소화시 고형물중의



[Fig. 3] 고효율 포기시스템에 의한 온도에 따른 고형물제거(TS)



[Fig. 4] 고효율 포기시스템에 의한 슬러지의 고형물제거

FS비율이 18.8-23.7%정도가 감소하고 있는 것으로 나타나고 있다. 다음 [Fig. 4]에 나타난 바와 같이 FS와 VS의 제거율이 비슷한 수치를 보이는 것을 확인할 수가 있다.

이에 대해서는 아직 학술적으로 확실하게 규명된 것은 아니지만 Adams 등에 의하면, 소화과정동안 슬러지의 VSS 함량만이 감소하고, Fixed, Non-Volatile Suspended Solids(FS)의 분해는 발생하지 않는다고 주장하고 있다.[19] 그러나, Randall등은 Adams의 주장과 반대 의견을 발표하였으며, 호기성 소화과정시에도 폐활성슬러지의 Fixed Suspended Solids(FS)가 감소한다고 보고하고 있다[19]. 이와 같은 감소는 Fixed Solids의 고형물안에 들어있는 미생물 세포의 용균이 일어나고, 부유(Suspended)상태에서 용해(Soluble)상태로 형태가 변화하면서 다소간의 FS물질도 감소하는 것으로 판단된다. 국내의 학위논문 등에 따르면 FS의 비율이 감소 또는 제거될 수 있다는 연구결과를 발표하였듯이[3,7], 본 실험결과에서도 슬러지소화과정에서 일부의 FS물질의 분해도 가능한 것으로 나타났다.

3.5 슬러지처리 비용분석

고효율 포기시스템에 의한 고농도 유기 슬러지의 소화는 온도(15℃, 25℃ 35℃)에 따라 다소간의 제거율이 다르기 때문에 가장 효율이 낮은 15℃에서의 평균값을 대표값으로 하여 비용을 산정하였다. 실험기간 전체적인 TS 유입농도가 6,700 mg/L 유출농도가 5,150 mg/L정도가 감소한 것으로 산정하여 슬러지 처리비와 반응조 운전비를 비교하여 계산하였다.

(1) 슬러지 처리비:

① 1,236㎥/HRT 0.64일 = 1,930㎥/일 유기슬러지 처리

② TS 유입 1.32%(VS 49.7%, FS 50.3%), 유출 1.2%(VS 47.0%, FS 53.0%)

③ 감량 전 Cake량 141.5ton/일, 감량 후 Cake량 124.8ton/일

④ 유기 Cake 처분비 :

54,300원/ton 기준하여 계산하면

슬러지 감량전의 슬러지 처리비: 141.5ton/일×365일/년 × 54,300원/ton = 2,804,459,250원/년

슬러지 감량후의 슬러지 처리비: 124.8ton/일×365일/년 × 54,300원/ton = 2,473,473,600원/년

슬러지 감량후 절약비용: 2,804,459,250원/년 - 2,473,473,600원/년 = 330,985,650원/년으로서 년 3억 3천만원의 슬러지 Cake 처분비가 절감되는 것으로 나타나고 있다.

그러나, 고효율 포기시스템의 반응조를 운전하기 위한 비용이 소요되므로 고효율 포기시스템의 운전비용은 다음과 같다.

(2) 고효율 포기시스템의 반응조운전비:

순환 Pump 1대/BJR 1기, 송풍기 1대/BJR 2기를 기준하여 소요 전력비를 계산하면, (110kW/대 x 2대 + 75kW) x 24시간/일 x 365일/년 x 70원/kWH = 180,894,000원/년 금액이 소요되는 것으로 나타났다.

(3) 실제적인 슬러지처리 절감비:

슬러지 감량후 절약비용 330,985,650원/년 - 180,894,000원/년 = 150,091,650원/년으로서 매년 1억 5천만원의 슬러지처리비가 절약되는 것으로 나타났다.

이와 같이 고효율포기시스템을 이용한 슬러지소화는 슬러지고형물의 감소를 통하여 비용을 절감할 수 있는 효과적인 방법으로 판단된다. 특히 일반하수뿐만이 아니라, 고형물농도가 높거나, 유기물 부하가 높은 소규모 오폐수처리장의 현장처분시 적절한 처리공법이라고 판단된다.

4. 결론

하·폐수 처리장에서 발생하는 고농도의 유기성슬러지를 대상으로 고효율포기시스템을 적용하여 유기성슬러지의 처리성 평가시험(Treatability test)를 수행한 결과 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 본 실험대상 슬러지의 분석결과, BOD_5 7,986 mg/L, COD_{Cr} 26,849 mg/L, COD_{Mn} 8,987 mg/L, FS 6,398 mg/L, VS 6,333 mg/L, TS 12,731 mg/L인 것으로 나타났다. 그리고, 슬러지중 VS/TS비(VS/TS ratio)는 0.47로서 일반적인 도시하수처리장 슬러지의 VS/TS비인 0.6-0.7보다 다소 낮은 것으로 나타났다.

2. 고효율 포기시스템(High efficiency aeration system)을 이용한 슬러지 소화시 유기물제거를 확인한 결과, 유기물 제거율은 55.2%~85.8%인 것으로 나타났다. 평균 BOD제거율과 총 COD제거율은 80.2%~85.8%와 55.2~59.6%인 것으로 나타났다. 이 점은 일반 하수처리장의 유기물제거율이 보통 80~90%인 것과 비교하여 낮은 것으로 나타나고 있으며, 이것은 공장폐수의 영향인 것으로 판단된다.

3. 고효율 포기시스템을 이용한 슬러지 소화시 슬러지 감량화(sludge reduction)를 확인하기 위하여 슬러지고형물 제거율을 비교해본 결과, FS 제거율은 18.8~23.7%, VS 제거율은 26.8~31.7%, TS 제거율은 22.8~27.7%인 것으로 나타났다. 평균적으로 25.2% 전후의 슬러지 감량화를 나타나고 있다.

4. 일반적으로 생물학적 공법의 경우 미생물에 의한 반응이기 때문에 반응조의 온도에 따른 영향이 매우 큰 것으로 나타나고 있다. 본 실험결과에서도 미생물대사와 마찬가지로 온도에 상승함에 따라 유기물과 고형물의 제거효과가 증가하는 것으로 나타나고 있다. 그에 따라 유기슬러지의 발생량을 감소시킴에 따라 실질적인 슬러지 처리비 부담을 줄일 수 있는 것으로 나타나고 있다.

5. 고효율 포기시스템에 의한 슬러지소화(sludge digestion)는 특히 고형물농도가 높거나, 공장폐수 등 FS 비중이 상대적으로 높은 소규모 하폐수처리장의 현장처리(onsite treatment)에 효과적인 처리공법으로 추천할만한 공법으로 판단된다.

참 고 문 헌

[1] 김동민 외(1984), 폐수처리, 동화기술, pp. 228.

[2] 김진우(2004), “Jet Loop 반응기를 이용한 폐수의 생

물학적 질소제거 연구", 동아대학교 대학원 박사학위 논문
[3] 권재찬(2003), 슬러지 전처리 및 호기소화가 탈수 특성에 미치는 영향, 成均館大學校 科學技術大學院
[4] 이상혁, 박성근(2010), "고효율 컴펙트 공법을 이용한 커피폐수의 생물화학적 처리", 한국도시환경학회지 Vol. 10, No. 1 (통권 제19호), pp. 99-110
[5] 이상혁, 박성근, 이병인(2011), BJR 공법을 이용한 음식물폐수의 고농도 유기물 및 질소물질제거, 한국폐기물학회지
[6] 최의소(2001), 상하수도공학, 청문각, pp. 2.
[7] 한규철(2003), 슬러지 전처리와 막분리를 이용한 호기소화에 관한 연구, 成均館大學校 大學院
[8] 디지털 보사(2012.03.23)
[9] 서울경제신문(2004), 지자체.음식물 처리업계 '비상'
[10] 환경부(2011), 환경백서, 환경부 pp. 550-551.
[11] 환경부(2011), 한국통계연감
[12] 한겨레(2011), 2013년부터 해양 투기 금지 음식물 폐수처리 '발등의 불'
[13] 한국경제(2011.03.16, 2011년 2월부터 수도권 하수슬러지 처리 혼란
[14] 환경부(2010), 하수처리시설 전문가(에너지자립, 하수슬러지) 포럼
[15] 환경부 생활하수과(2010), 하수슬러지최적처리기술연구
[16] 환경부(2011), 하수슬러지감량화방안연구
[17] 환경부(2008), 수질오염공정시험기준
[18] 환경부(2004), 폐기물공정시험방법
[19] Larry D. Benefield and Clifford W. Randall (1987), Design Relationships for Aerobic Digestion, Journal Water Pollution Control Federation, Vol. 50, No. 3, pp. 518-523
[20] Metcalf & Eddy(1991), Wastewater Engineering Treatment Disposal, Reuse(3rd edition) (McGRAW-Hill. New York), pp. 529-662
[21] N.F. Gray(1990), Activated sludge theory and practice(Oxford university press), pp. 2
[22] Naundorf, E. A., Subramanian, D., Raebiger, N. and Vogelpohl, A.(1985), "Biological treatment of waste water in the compact reactor", Chem. Eng. Process, 19, pp. 229-233
[23] Otto Oeko-Tech(1990), Process and equipment for the biological purification of wastewater (European Patent Office, pp. 369-455
[24] Sang-Houck Lee and Jae-Chun Ko(2010), " Advanced Treatment of Food Waste Leachate Using the Aeration Reactor with High Efficiency Pure Oxygen", 한국도시환경학회지 Vol.10, No.2, September
[25] Sigel, H., Merchuk, J. C., and Schugerl, K. (1986), "Airlift reactor analysis : Interrelationships between riser, downcomer and gas-liquid seperator behavior, including gas recirculation effects", AIChE J., Vol. 32, No. 10, pp. 1585-1596
[26] Vogelpohl, A(1985)., The HCR-Process for Compact, High Performance Waste Water Treatment(Pollution and Waste Management), pp. 140-145
[27] Wachsmann, U., Raebiger, N. and Vogelpohl, A.(1984), "The compact reactor -A newly developed loop reactor with a high mass transfer performance" Ger. Chem. Eng. Vol. 7, pp. 39-44
[28] Weiland, P.(1984), "Influence of draft tube on operation behavior of airlift loop reactors", Ger. Chem. Eng., Vol. 7, pp. 374-385
[29] APHA, AWWA, WEF(1992), Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 18th Ed

오 세 배

- 2010년3월~현재: 호서대학교 벤처전문대학원 보건환경학과 박사과정(6학기)
- 2004년 6월~현재: 탑이엔씨 대표
- 관심분야: 수처리 분야
- E-Mail: sboh3813@naver.com

이 상 혁

- 2008년 3월~현재: 호서대학교 벤처전문대학원 (교수)
- 2012년 2월~현재: 한국생활환경협회 회장
- 관심분야: 생활환경 개선분야
- E-Mail: isen@hoseo.edu