

# 자가발열 고온호기성 소화(ATAD)방식을 이용한 하수잉여슬러지 저감기술 개발

연구기관 : 한국정수공업(주) 기술연구소, 수원대학교 환경공학과  
참여기업 : 한국정수공업주식회사

## 기술개발요약

1998년 기준으로 하수처리장에서 발생하는 슬러지는 약 144만톤/년으로 발생량 대부분을 단순매립과 해양투기로 처리하고 있어서, 각종 규제가 강화됨에 따라 처리방안에 대한 대안 마련이 시급한 실정이다. 특히 단순매립 시에는 슬러지 대부분이 유기물로 부패되어 매립지 내에서 악취, 침출수, 해충 등의 2차 환경오염을 야기시키고 있다. 따라서 본 연구개발의 목표는 자가발열 고온호기성 소화(Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion)를 거친 소화 슬러지를 폭기조에 전량 또는 일부 재반송하여 잉여슬러지 저감공정을 개발하는데 있다. 이를 위해 1차년도에는 ATAD Pilot Plant 개발 및 하수잉여슬러지 대상의 적용성 실험 진행하였고, 2차년도에는 ATAD방식을 채용한 활성슬러지 공정의 Pilot Plant 개발 및 운영을 통하여 하수잉여슬러지 저감의 실제적인 증거를 확보하였으며, 이를 바탕으로 3차년도에는 본 연구를 실용화에 중점을 두고 연구중에 있다.

keyword : 슬러지저감기술, 고온호기성소화, 고품물감량, 가용화, 소화액 반송, Sludge Reduction, Autothermal Thermophilic Aerobic Digestion, Sdlubilization, Digested sludge return

## 1. 서 론

1998년 현재 가동중인 하수처리장에서 발생하는 슬러지는 년 144만톤으로 이중 92.9%인 134만톤을 육상매립과 해양투기로 처분하고 있고 재이용은 2.4%에 머무르고 있다. 추후 2005년까지 추진계획인물관리종합대책에 따라 총 370개의 하수처리장을 건설 및 운영할 경우 발생될 하수 슬러지는 하루 약 1만 4천톤(습량기준)에 이를 것으로 예상된다. 그리고 현재의 폐기물관리법에서는 하수슬러지의 매립장 직매립을 2003년부터 금지하기로 되어 있고, 해양투기에 대해서는 런던협약과 관련된 96의 정서가 발효되면 금지될 것으로 예상되므로 근본적인 하수슬러지의 처리가 매우 시급한 문제로 대두되고 있다. 이에 본 연구는 활성슬러지 공정에서 발생하는 잉여오니를 ATAD조에서 소화시킨 후 폭기조로 반송하여 잉여슬러지 배출을 최대한 저감시키는 공정 개발을 목표로 하고 있다.

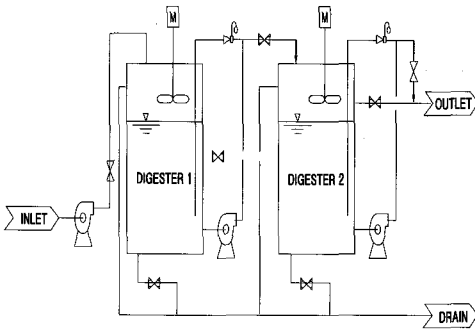
## 2. 연구방법

1차년도에는 ATAD Pilot Plant 개발 및 하수잉여슬러지 대상의 적용성 실험 진행하였고, 2차년도에는 ATAD방식을 채용한 활성슬러지 공정의 Pilot Plant 개발 및 운전을 통하여 하수잉여슬러지 저감의 실제적인 증거를 확보하였으며, 이를 바탕으로 3차년도에는 본 연구를 실용화에 중점을 두고 연구중에 있다.

## 3. 연구개발결과

### 3.1 하수슬러지를 대상으로한 ATAD의 적용성 검토

S시 환경사업소의 농축슬러지를 대상으로 고온호기성소화방식을 이용한 슬러지 감량화 연구를 <그림 1>과 <표 1>에서와 같은 구성과 제원으로 ATAD Pilot Plant를 제작하여 실험을 수행하였다.



<그림1> ATAD 실험장치 구성도

구분	사양
Digester	730 $\phi$ ×1500H, 2Ssts
Effective Capacity	450 l, each
Ejector	6~30LPM (AIR)
Sludge circulation pump	7m <sup>3</sup> /hr
Defoamer	600rpm
Raw Sludge	s시 환경사업소 농축슬러지
Operation Condition	Batch, Continuous, Semi-Batch

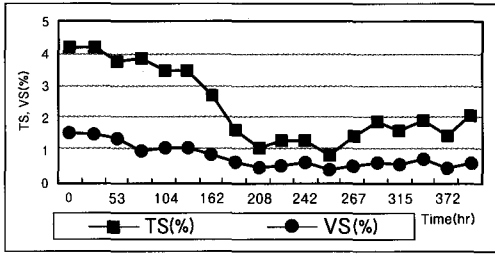
<표1> ATAD Pilot Plant의 제원 및 운전조건

#### 3.1.1 하수잉여슬러지 투입조건에 따른 고온호기성소화 실험결과

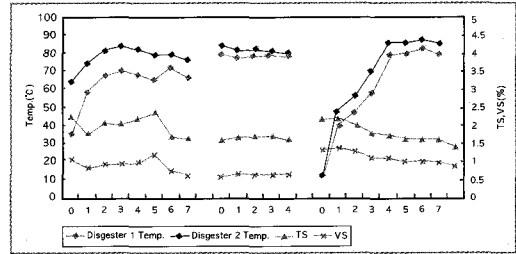
하수잉여슬러지를 대상으로 고온호기성 소화방식을 이용한 슬러지의 TS감량율은 회분식 운전방법에서 최고치를 나타내었는데, 운전방법별 TS최대 감량율은 연속식 34%, 회분식 79%, 반회분식 48%를 각각 나타내었다. 한편, VS의 최대 감량율은 연속식에서 43%, 회분식에서 69%, 반회분식에서 23%를 나타내었다. 그리고 회분식운전에서 CODcr의 감량률을 실험한 결과 16727mg/l 에서 6273mg/l 으로 62.3%의 제거율을 보였다.[그림 2, 3, 4, 5 참조]

#### 3.1.2 고온호기성소화조내 우점균 조사

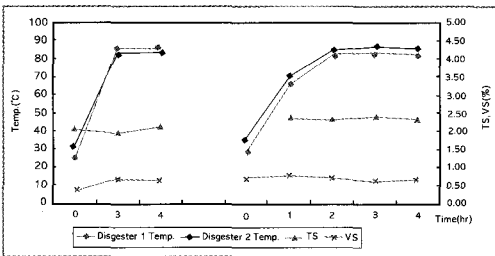
액체배지(peptone ; 5g, yeast extract ; 2.5g, dextrose ; 1g, 증류수 1 l )에 우점균을 접종하여 65℃에서 정치배양하였을 때



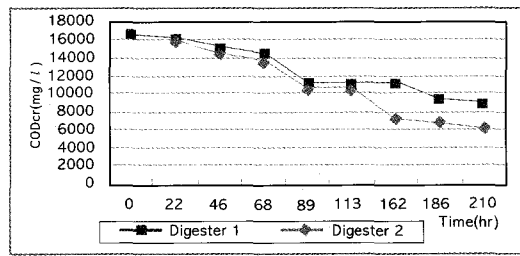
<그림 2> 회분식 운전결과 ATAD 유출 TS 및 VS변화



<그림 3> 연속운전 결과 ATAD 온도, TS, VS농도 변화

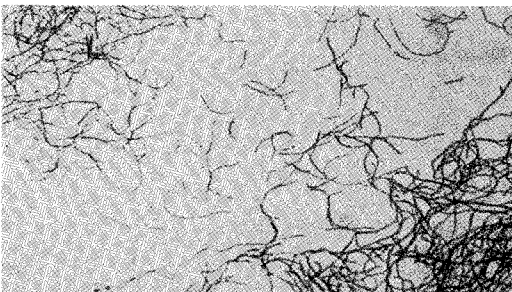


<그림 4> 반회분식 운전결과 ATAD 온도, TS 및 VS농도 변화



<그림 5> 회분식 운전결과 슬러지의 CODcr 농도 변화

증식된균의 형태는 <그림 8>와 같이 길이가 짧은 간균이었으며 운동성이 있었다. 따라서 분리된 우점균은 Bacillus sp.인 것으로 확인되었다. 또한 비증식속도는 증식속도가 매우 빠른 Bacillus megatherium의 비증식속도(30℃) 31.8day<sup>-1</sup>과 비교하면 65℃일 때 약 19.3day<sup>-1</sup>로 비교적 빠르게 증식함을 볼 수 있었고, 고온호기성 소화 후 대장균군의 배양실험결과 체류시간내 99%이상 사멸하는 것으로 관찰되었다.



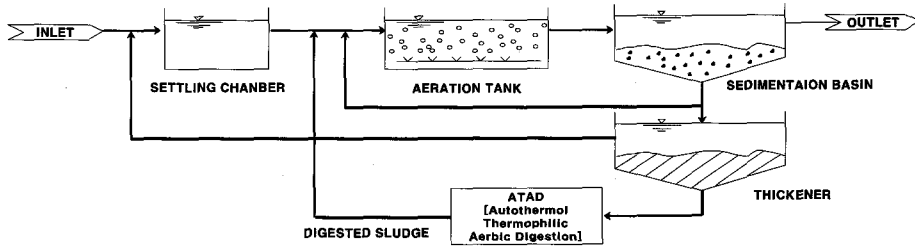
<그림 6> PCA평판배양의 우점균 염색(×100)

### 3.2 ATAD방식을 채용하는 활성슬러지공정의 슬러지 저감연구

“일반 활성슬러지공정(RUN1)”과 “ATAD방식을 채용한 활성슬러지공정(RUN2)”을 비교하여 RUN2방식의 최적화 및 안정성을 검토하였다. 공정 개념도와 운전조건은 <표 2>과 <그림 7>와 같이 구성하여 실험을 수행하였다.

### 3.2 ATAD방식을 채용하는 활성슬러지공정의 슬러지 저감연구

“일반 활성슬러지공정(RUN1)”과 “ATAD방식을 채용한 활성슬러지공정(RUN2)”을 비교하여 RUN2방식의 최적화 및 안정성을 검토하였다. 공정 개념도와 운전조건은 <표 2>과 <그림 7>와 같이 구성하여 실험을 수행하였다.



<그림 7> ATAD를 적용한 하수처리 개념도

<표 2> 활성슬러지조 운전조건

구 분	RUN 1	RUN 2
평균 유입수량(m <sup>3</sup> /일)	14.5	14.5
평균 유입CODcr(mg/l)	303.8	322.6
평균 유입 BOD(mg/l)	138.8	198.2
평균 유입 SS(mg/l)	128.2	109
F/M(kgBOD/kgMLSS)	0.23	0.18
MLSS(mg/l)	1800	4000~5000
SRT(일)	4.7	4.7
소화액 투입량(l)	0	60~80

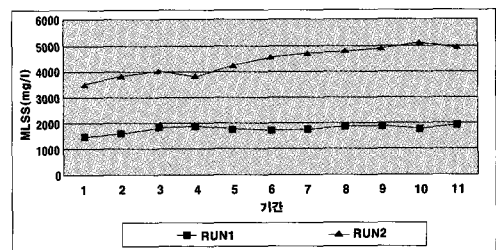
활성오니조의 운전조건에 경우 유입수량 14.5m<sup>3</sup>/d, 반송율 30~50%, HRT는 5.6hr로서 RUN1방식과 RUN2방식이 동일하게 운전하였으며 DO와 SRT는 RUN1방식이 각각 2.0~4.0mg/l, 4.7일이었고 RUN2방식에서는 소화액이 폭기조로 반송됨에 따라 폭기조 MLSS의 상승으로 인해 DO는 1.0~2.0mg/l, SRT 9.7일로 다소 차이를 보였다. 또한 ATAD반응조 체류시간은 3일을 유지시켰고 VS처리율은 평균 38%를 유지시켰다. 잉여슬러지 저감 효과를 살보기 위하여 60~80 l/d를 폭기조로 반송시켰다.

### 3.2.1 고온호기성소화액을 폭기조 반송에 따른 MLSS변화

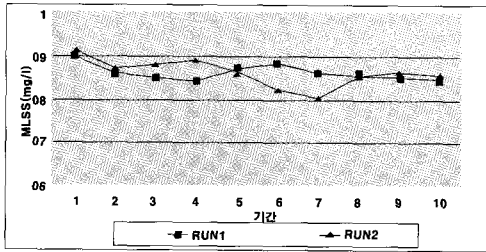
“일반 슬러지공정(RUN1)”과 “ATAD방식을 채용한 활성 슬러지공정(RUN2)”를 운전했을 때 각각의 폭기조내의 MLSS변화 추이를 <그림 8>에 나타내었다. 이후 RUN1방

식과 RUN2방식을 비교한 결과 <그림 8>과 같이 RUN1방식일 때 MLSS는 약 1800±200mg/l를 유지했고, RUN2방식은 MLSS 약 5000mg/l ±1500까지 증가함을 보였다. <그림 9>같이 ATAD소화액을 폭기조로 반송했을 때 MLVSS와 MLSS의 비는 약 0.85로서 RUN1방식과 RUN2방식이 서로 차이가 없음이 관찰 되었다. (표8,9 참조)

### 3.2.2 ATAD방식을 채용하는 활성슬러지 공정의 실험결과

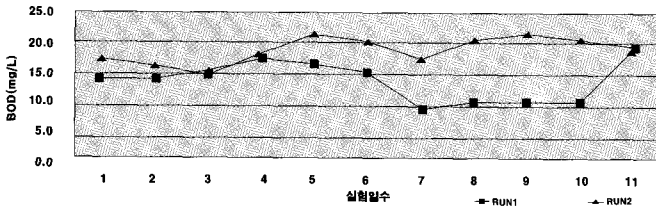


<그림 8> 실험조건에 따른 폭기조내 MLSS 변화

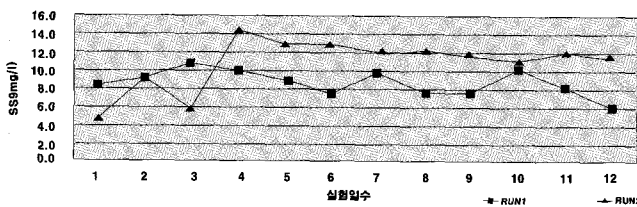


〈그림 9〉 폭기조내 MLVSS/MLSS RATIO

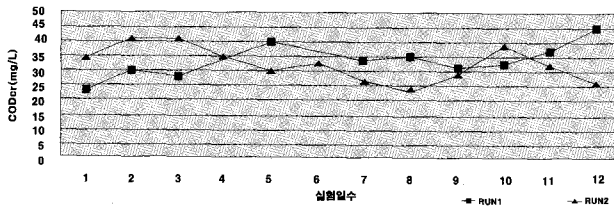
아래 그림에서와 같이 RUN2방식의 유출수 BOD, CODcr, SS는 RUN1방식에 비해 비교적 높았다. 이유는 소화과정을 거치면서 상당량의 미생물이 분쇄되어 폭기조로 재유입되므로 일부 부하량이 높아졌기 때문이다. 그러나 방류수 질기준에 적합한 것으로 관찰되었다.



〈그림 10〉 실험조건에 따른 활성슬러지공정의 BOD변화



〈그림 11〉 실험조건에 따른 활성슬러지공정의 SS변화



〈그림 12〉 실험조건에 따른 활성슬러지공정의 CODcr변화

## 4. 기술개발효과 및 적용분야

### 4.1 기술개발효과

환경부에서는 1996년말 하수슬러지의 처리비용을 240억으로 산정하고 있으며 이후 하수슬러지의 발생량 예측을 통해 처리비용이 2001년에는 400억원, 2006년에는 540억원이 각각 소요될 것으로 추정하고 있다. 본 연구 과제인 ATAD방식을 이용한 하수잉여슬러지 저감기술이 개발되어 상용화 된다면 현재 추정하고 있는 슬러지 처리비용에서 고온호기성 소화조 추가 건설에 따르는 비용분을 제외 한 만큼의 예산 절감 효과를 기대할 수 있다.

한편, 고온호기성 소화조의 신설비용과 운전비용을 여타의 슬러지 처리비용과 비교하면 신설비용은 탈수기의 신설비용과 비교하여 초기투자비는 1.5배 수준으로 추산되지만 건설후 약 2년이 경과하면 전력비, 약품사용량 등의 운전경비 측면에서 볼 때 0.8~0.5배 수준으로 감소할 것으로 예상된다.

### 4.2 적용분야

본 연구과제를 통하여 개발된 기술은 중소규모의 하수처리시설에서 잉여슬러지를 처리하는 기술로 활용될 수 있으며, 폐수의 유기물 농도가 높은 축산폐수, 식품류 가공공장 등에서도 슬러지 처리 기술로서 적용될 수 있다.

## 5. 결론 및 향후 전망

본 연구의 최종목표는 ATAD방식을 채용한 활성오니공정을 이용하여 무방류 또는 일부 방류를 통하여 잉여슬러지를 경제적이고 효율적으로 처리하는 기술을 현장에 적용할 수 있는 시스템을 구성, 실용화시키는데 있다. 고온호기성소화 기작의 최

적 공정 효율 조건을 규명하였고, 본연구 기간동안 ATAD 방식을 채용한 활성오니공정에서 슬러지 배출은 없었으며 유출수질도 방류수 수질기준에 적합한 것을 관찰되었다. 현재 3차년도 연구수행중인 Pilot Plant와 Lab-Scale 운전을 병행하여 시스템내의 물질수지 도출과 고온호기성 소화슬러지 반송에 따른 폭기조내 미생물변화, 소화조내의 질소거동을 파악하여 고도처리가능성 파악, Scale-Up에 따른 실설계자료 도출을 위한 매뉴얼 작성등에 중점을 두고 연구를 수행 할 것이다.

## 참여기업소개

기업명	한국정수공업주식회사	대표자	이규철
주소	경기도 안산시목내동 400	연락처	031-489-1322
설립년월일	1959년 2월 12일	주된업종	용수/폐수처리
기술보유현황		주요생산제품	
1. 연속탈이온제거설비기술 2. 패키지형 생물고도오수처리기술 3. 이온교환막생산기술 4. 전기투석을 이용한 폐수재활용기술 5. 초순수제조 및 응축수회수기술 6. 섬유막을 이용한 필터생산기술		1. CDI 2. ER/EDR 3. 세계로 4. Prefil 5. 초순수제조설비 6. 폐수 및 하수처리설비	
홈페이지	www.haji.co.kr		



## 원고를 모집합니다.

- 어려운 현실에서도 환경보전을 위한 작은 실천 내용을 나누고 싶습니다.
- 주위의 따뜻하고 진솔한 삶의 소리를 듣고 싶습니다.
- 열심히 공부하고 모은 기술자료를 공유하고 싶습니다.
- 좋은 것은 나누고 슬픔은 함께 했으면 합니다.

- 자격: 회원 및 가족
- 접수: E-mail 및 우편
- 문의: 852-2291(편집국)
- 마감: 매월 10일까지

※ 채택된 원고에는 소정의 상품권을 드립니다.