

BIO-CLOD를 이용한 하수 슬러지 탈수성 개선 효과분석

성일화[†]

가천대학교 환경에너지공학과

Improvement of Sewage Sludge Dewaterability using BIO-CLOD

Il-Wha Sung[†]

Department of Environmental Energy Engineering, Gachon University

ABSTRACT

Objectives: In order to review both the effects of sewage sludge dewaterability and deodorizing ability in the existing advanced sewage treatment process, BIO-CLOD (a solidified mixture of 10% *Bacillus* concentrate and inorganics) was used as an inorganic conditioner effective for deodorization treatment in addition to the removal of organic matter and nutritive salts.

Methods: Sludge dewaterability was evaluated using specific resistance to filtration (SRF) experiments with six agitators and two types of commercially available BIO-CLOD; one that is made by grinding solid matter (powdered BIO-CLOD) and one that has been obtained by sieving a separation with a particle diameter of 100 mesh (100 mesh BIO-CLOD). For deodorization odor treatment experiments, 20 g of commercially available solid BIO-CLOD was submerged in four liters of sewage sludge and mixed and agitated for 45 days.

Results: When BIO-CLOD was injected into sewage sludge to experimentally compare specific resistance to filtration (SRF), the optimum amount of BIO-CLOD to be injected was shown to be 2% w/v and the SRF value in this case was 1.35×10^{12} m/kg. pH changes following BIO-CLOD injection were within 6.5-7.0. By 14 days after submerging BIO-CLOD into the sewage sludge to evaluate its deodorizing ability, H₂S decreased by 68% and methyl mercaptan decreased by 74%. By 45 days after the submergal, both items decreased by 100%, indicating deodorizing ability.

Conclusion: To compare the levels of dewaterability of sewage sludge at different particle sizes of inorganic conditioner, powdered BIO-CLOD, particle size 100 mesh BIO-CLOD, and bentonite were tested. It could be seen that as the powdered BIO-CLOD increased, the precipitability increased up to 62% in 30 minutes. As an inorganic conditioner, BIO-CLOD was identified as a stable sludge conditioner that does not affect pH.

Key words: BIO-CLOD, conditioner, dewaterability, sewage sludge, SRF

I. 서 론

전국 500 m³/일 처리규모이상 공공하수처리시설에서 발생하는 하수 슬러지는 2003년 242개소 2,267천톤/일에서 2013년에는 569개소 3,531천톤/일로 36%가 증가하였으며 2012년 해양투기가 금지되면

서 재활용 42%, 육상매립 11%, 소각 24%, 연료화 10%, 기타 13%로 처리되고 있다.¹⁾ 하수 슬러지 특성은 높은 유기물 함량과 75~85% 정도의 함수율로 인해 부패하기 쉽고 악취발생 우려가 있어 슬러지의 발생량을 근본적으로 줄이는 것이 필요하며 이를 위한 방법으로 슬러지 부피 자체를 줄이는 감량

[†]Corresponding author: Department of Environmental & Energy Engineering, Gachon University, 1342 SeongnamDaero, Sujeong-Gu, Seongnam-Si, Gyeonggi-Do, 461-701, Korea, Tel: +82-31-750-5592, Fax: +82-31-750-8839, E-mail: iwsung@gachon.ac.kr
Received: 2 September 2015, Revised: 25 September 2015, Accepted: 1 October 2015

화가 필요하다.

하수 슬러지 처리에서 탈수공정은 슬러지 발생량을 저감하여 처분을 용이하게 할 뿐만 아니라 슬러지 처리비용 감소 및 환경의 영향을 최소화하는 공정이기 때문에 슬러지의 탈수능 향상을 위한 다양한 처리 방법이 소개되어 왔다. 화학적 처리방법으로서 오존처리는 오존의 강한 산화작용이 고액 분리성을 높여 고형물의 감량화와 안정화에 효과가 있으며, 하수 슬러지에 초음파나 과산화수소처리는 유기물질을 줄여 탈수성을 향상시키며, 열을 이용한 처리는 슬러지의 특성변화를 유도하거나 전기분해를 통하여 슬러지 감량 시키고 있다. 그러나 오존은 별도의 발생장치가 있어야 하고, 전기분해는 전문적인 운전기술이 필요로 한다.²⁻⁹⁾ 소독 및 잔류성에서 염소가스와 동일한 효과를 가지면서 수중의 알칼리도를 유지하여 관로나 기기설비의 부식을 방지할 수 있는 기능의 차아염소산나트륨(NaOCl)을 주입하여 하수 슬러지의 탈수능 개선 효과를 보이기도 한다.^{10,11)}

하수 슬러지에 무기 개량제 주입은 기공 형성을 하여 탈수율을 높여 주고 화학적 구성성분 중 SiO₂의 함량이 높을수록 친 탈수성 경향을 보이고 있다. 다공성이며 투과가 잘되는 불활성 물질을 이용하는 무기개량제로서 폐굴 껍질,¹²⁾ 키토산,¹³⁾ 유연탄 및 비산재 등을 이용하려는 연구가 활발하다. 석회석¹⁴⁾은 탈수 전 단계에 주입하여 슬러지 탈수 시 공극의 폐색현상을 방지할 수 있는 다공성의 구조를 만들어 여액이 잘 통과 할 수 있게 해주고 있다. 그러나 과다한 사용은 슬러지 양을 증가시키는 원인이 되기도 한다. 무기 개량제로서 BIO-CLOD는 *Bacillus* 농축액 10%와 무기물질을 혼합하여 고형화한 것으로 기존의 하수고도공정에서 유기물 및 영양 염류 제거 이외에 악취 제거능에서 효과가 있음을 보여 주었다.¹⁵⁾ SiO₂ 20.8%, Al₂O₃ 15.5%, Fe₂O₃ 4.6%, CaO 5.0%로 구성된 화학적조성은 하수 슬러지 탈수능을 향상 시킬 수 있는 조건으로서 본 연구에서는 BIO-CLOD를 이용하여 하수 슬러지의 탈수능과 탈취능의 영향을 검토하였다.

II. 재료 및 방법

1. 실험재료

본 연구에서는 인천시 S하수처리장의 생 슬러지를 사용하였으며, 실험에 사용된 슬러지의 특성은 Table

Table 1. Characteristics of sewage sludge

parameter	average
Temperature(°C)	25
pH	6.88
Total Solids (mg/L)	24,500
Volatile Solids (mg/L)	12,400
Cl (mg/L)	300
BOD (mg/L)	1,400
COD _{Mn} (mg/L)	5,300

1과 같다.

2. 실험 장치 및 방법

슬러지의 탈수성은 비저항(Specific Resistance to Filtration, SRF) 실험으로 평가하였으며, 장치는 Fig. 1과 같이 제작하였다. 탈수실험장치의 Büchner funnel 내 경은 7 cm이고 눈금실린더의 용량은 100 ml이며, 여과지로 Toyo 5C를 사용하였다.

실험을 위해 6개의 교반 장치를 갖춘 Jar-Tester(Dae Sung Scientific Co.)를 사용하여 하수 슬러지 100 mL에 BIO-CLOD 1~5 w/v%을 혼합하여 150 rpm에서 급속 교반 3분, 50 rpm에서 완속 교반 15분 후 30분 침전시킨 뒤, SRF시험과 함께 상정액에서 pH, 탁도를 수질오염공정시험기준으로 분석하였다.

연구에서 사용된 BIO-CLOD(Biomeca Inc. Korea)는 시판되고 있는 것으로 고형물을 분쇄한 것

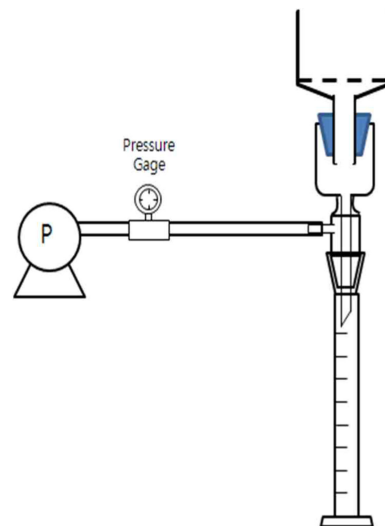


Fig. 1. SRF equipment.

(powdered BIO-CLOD)과 입경 100 mesh로 체가름한 것(100mesh BIO-CLOD) 두 종류를 사용하였다. BIO-CLOD조성은 *Bacillus* 농축액 10%와 기타 물질을 넣어 고형화한 것으로, *Bacillus*는 공기 중은 물론 토양, 건조, 먼지 등 자연계에 널리 분포하는 호기성 또는 통성혐기성의 간균으로 하수처리에 이용되고 있다.¹⁵⁾ BIO-CLOD화학조성은 탄소 28%, 알루미늄 4.1%, 질소 2.8%, 유황 2.0%, 규소 9.7%, 칼슘 3.6%, 일반세균 $2.4 \times 10^8 \sim 1.6 \times 10^{11}$ cfu/g, 수분 10%이었다. 또한 BIO-CLOD와 비교할 수 있는 무기계량제로서 우리나라에 산재해 있고 양이온교환능력이 있어 중금속 등의 오염물질제거기능이 있는 bentonite를 사용하였다.

악취 농 실험을 위해서는 밀폐된 480 L 아크릴용기 안에 시판하는 BIO-CLOD 고형물 20 g을 하수 슬러지 4L에 침적시켜 45일간 혼합 교반 하면서 *Bacillus* 성분을 용출시켰다. 시료채취는 밀폐용기에 설치된 기체시료 채취구를 통해 기체시료를 5L Tedlar 백과 임핀저(impinger)로 포집 하여 채취하였으며, 측정항목으로는 H₂S(GC/FPD, Agilent6890), methyl mercaptan(GC/FPD, Agilent6890), ammonia(Shimadzu UV160), VOC (GC/MSD, Agilent 5973), formaldehyde (HPLC, Waters 515)를 분석하였다.

III. 결 과

1. 분말BIO-CLOD 주입량에 따른 탈수 변화

하수 슬러지 탈수에서 사용되고 있는 무기 개량제를 구성하고 있는 무기성분들이 탈수 시 탈수케이크에 기공을 많이 만들수록 탈수율을 높인다. 고도하수처리에서 BIO-CLOD고형물을 용출시켜 유기물과 질소, 인 제거를 한 연구¹⁵⁾에 의하면 BIO-CLOD를 구성하고 있는 *Bacillus*와 무기성분의 다공성 특성에 의한 것으로 보인다. 본 연구에서는 시판하는 BIO-CLOD를 분쇄한 분말(powdered BIO-CLOD)과 입경 100mesh형태의 미세분말(100mesh BIO-CLOD)을 사용 하였다. 분말BIO-CLOD에 대한 슬러지의 탈수성의 효율을 알아 보기 위해 SRF실험을 수행하였으며, 탈수율을 측정할 수 있는 항목으로 재현성이 높은 SRF실험은 100 ml의 하수 슬러지에 분말 BIO-CLOD를 혼화한 후 주입량에 대한 pH, 탁도, 탈수능의 효과를 검토하였다. Fig. 2는 분말BIO-CLOD 주입량에 따른 탁도와 pH 변화이다. BIO-

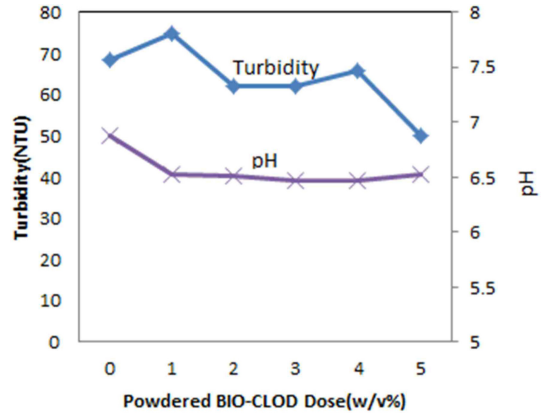


Fig. 2. Effect of powdered BIO-CLOD dose on turbidity and pH.

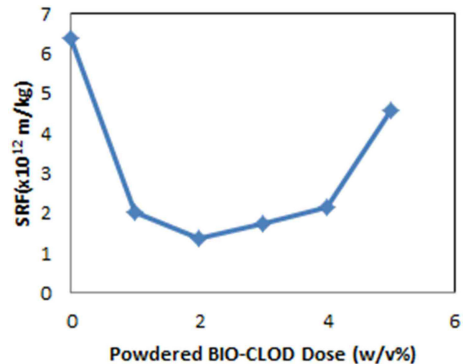


Fig. 3. Effect of powdered BIO-CLOD dose on SRF.

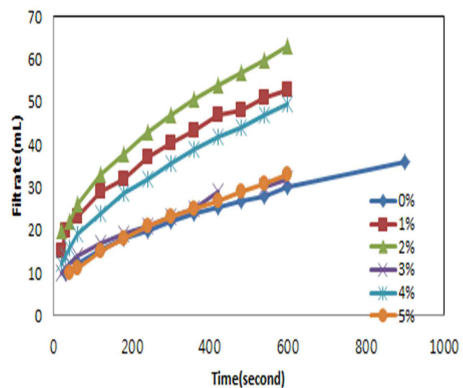


Fig. 4. Effect of powdered BIO-CLOD dose on dewatering.

CLOD주입량에 따라 탁도는 서서히 낮아지는 반면 pH의 영향은 크지 않은 것으로 범위는 pH 6.5~6.9

로 나타났다. 탈수실험에서 온도가 증가하면 여과에 저항이 되는 점성이 감소하기 때문에 온도가 높을수록 비저항 계수는 낮아지는 반면 pH는 높아질수록 비저항 계수 역시 높아지는 것으로 적정 pH는 6~7에서 가장 낮은 비저항 계수를 나타낸다고⁴⁾ 한 것을 참고할 때 추가적인 pH의 조절이 반드시 필요하지 않음을 알 수 있었다.

Fig. 3과 Fig. 4는 분말BIO-CLOD 투여 량 증가에 따른 탈수케이크의 비저항 계수 값의 변화를 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 BIO-CLOD 투여 량 증가에 따라 탈수케이크의 비저항은 감소되다가 증가되는 것을 볼 수 있는데 이는 BIO-CLOD 입자가 탈수케이크의 압축성을 저감시켜주는 것이지만 투여량이 많아지면 탈수케이크의 비저항의 감소율은 둔화되어 슬러지 입자의 특성보다는 BIO-CLOD입자의 특성이 전체 탈수케이크의 특성을 결정하기 때문에 비저항의 감소율은 둔화되는 것으로 판단된다. 이때의 적정 주입량은 2w/v%로 판단되었다.

2. Bentonite와 분말BIO-CLOD의 탈수능 비교

슬러지 화학성분 중 SiO₂의 함량은 높을수록 친탈수성 경향을 보인다고 하였다.⁸⁾ 슬러지에 무기 개량제를 주입하면 무기개량제의 다공성이며 불활성물질특성이 탈수 시 투과율을 높이고 슬러지 케이크의 폐색현상을 막을 수 있게 한다.

bentonite는 화산재가 변화하여 생성된 가소성 점토를 가리키는 말로서 bentonite의 광물조성은 몬모릴로나이트(montmorillonite)70%, 장석 29%이 주성분이고 소량의 석영(~1%)을 함유한다. 우리나라에서는 주로 경북 동해안지역의 신생대 3기층에 분포되어 있는 것으로 다른 점토에 비해 양이온 교환능력이 높고, 팽윤 특성이 양호하여 슬러지 개량제로서의 장점이 많다. 일반적 화학조성은 SiO₂ 56.8%, Al₂O₃ 20.0%, Fe₂O₃ 6.0%, CaO 2.6%이며, 무기개량제로서 BIO-CLOD와 bentonite를 비교할 때 BIO-CLOD의 화학조성은 SiO₂ 20.8%, Al₂O₃ 15.5%, Fe₂O₃ 4.6%, CaO 5.0%로서 슬러지 탈수에 높을수록 유리한 SiO₂ 함유량이 많다. 특히 유기물함량이 50% 이상인 하수 슬러지에서는 무기개량제의 주입이 필요하다. Fig. 5는 BIO-CLOD와 구성성분이 유사하고 경제적인 bentonite를 사용한 결과로서 투여량 증가에 따른 비저항은 급격히 증가하는 경향을

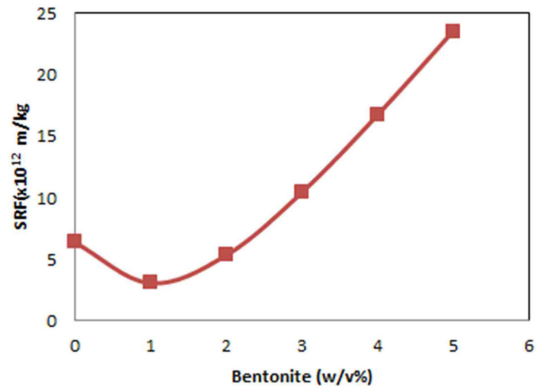


Fig. 5. Effect of bentonite dose on SRF.

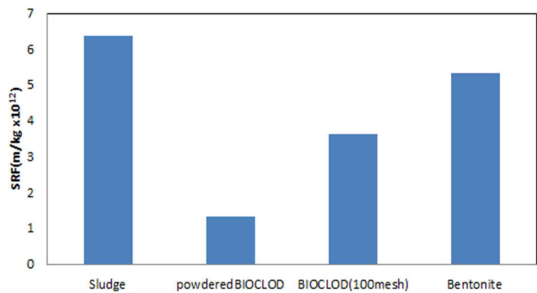


Fig. 6. Effect of powdered BIO-CLOD, BIO-CLOD (100mesh) and bentonite on SRF.

보이고 있다. 비저항 값도 동일한 조건으로 주입한 BIO-CLOD에 비해 현격히 높은 것을 보여주었는데 무기 개량제 주입량을 증가시킨다고 해서 반드시 비저항 계수가 낮아지는 것은 아님을 나타냈으며, 탈수율을 낮추는 원인에는 압력, 슬러지 입자밀도, 점성 등 여러 특성이 작용하는 것으로 알려졌다.⁸⁾

석회석을 이용한 소화 슬러지 탈수에 의하면 입경 20 mesh에서 200 mesh까지 입경크기에 따른 비저항 계수 변화는 입경의 크기가 클수록 비저항 계수가 더 높고, 입경이 작을수록 비저항 계수 값이 낮아져 100mesh를 적절한 크기로 평가 하였다.¹⁴⁾

Fig. 6은 분말BIO-CLOD의 적정 주입량 2w/v% 조건에서 입경크기를 100 mesh로 체 가름한 BIO-CLOD와 시판되고 있는 bentonite를 비교한 것으로서 입경이 작을수록 비저항 계수는 더 커지는 형태를 보였는데, 이는 슬러지 입자의 특성보다는 개량제가 오히려 슬러지 공극을 막는 역할을 한 것으로 판단된다.

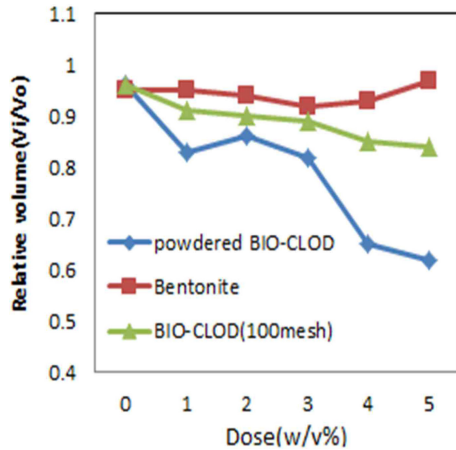


Fig. 7. Effect of inorganic conditioners dose on sedimentation volume.

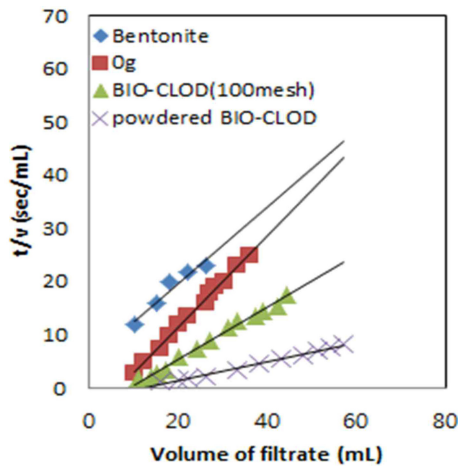


Fig. 8. Relationship between t/v and volume of filtrate on various inorganic conditioners.

3. 분말 BIO-CLOD에 의한 침강분리효과

슬러지 침강 성 실험은 메스실린더를 이용하여 분말BIO-CLOD와 반응 30분후의 침강하는 슬러지의 부피(mL)를 측정하는 방법으로 30분 후 침강부피를 측정한 결과 초기침강부피에 대한 30분후의 침강부피를 (Vi/Vo)를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에서 보면 bentonite에 비해 분말BIO-CLOD는 주입량이 많아질수록 침강성도 30분후 62%까지 침강하는 것을 알 수 있다, 반면 입경100 mesh의 BIO-CLOD와 bentonite는 거의 고액분리가 일어나지 않았으며, 입경 100 mesh의 BIO-CLOD의 경우는 상등 액의 탁

Table 2. Comparison of specific resistance on inorganic conditioners

concentration (w/v %)	BIO-CLOD (x10 ¹² m/kg)	bentonite (x10 ¹² m/kg)
0	6.36	6.41
1	2.01	3.08
2	1.35	5.32
3	1.74	10.4
4	2.12	16.7
5	4.57	23.6

도는 좋았지만 고액분리는 저조함을 보였다.

이때의 탈수실험결과를 t/v대한 탈수 여액 간의 관계를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 슬러지 자체 만의 대조 군보다 bentonite투입한 것이 더 느린 것을 알 수 있었으며 Table 2는 주입량 0에서 5w/v%에 대한 BIO-CLOD와 bentonite의 비저항 계수 값을 나타낸 것이다.

4. BIO-CLOD고형물의 탈취효과

황화수소(H₂S)와 methyl mercaptan(CH₃SH)은 하수 및 분뇨처리장에서 공통적으로 발생하는 악취의 원인물질로 H₂S는 최소감지농도가 0.0005 ppm(배출 허용기준 0.06 ppm)이고 CH₃SH은 0.0001 ppm(배출 허용기준 0.004 ppm)로 매우 낮은 농도에서도 감지가 됨으로써 문제가 되고 있는 항목이다. 악취제거 방법으로는 비표면적이 큰 활성탄을 사용하거나 대체물질로 Char, 점토광물, 제올라이트 등으로 제거시키는 방법 및 미생물 담체를 이용하는 방법이 진행되고 있다.¹⁶⁾

Fig. 9와 Table 3은 BIO-CLOD을 이루는 성분 중에 Bacillus균이 하수 슬러지에 용출되어 탈취능이 발휘될 수 있는지에 대한 회분식 실험이다. 밀폐된 용기 안에서 하수 슬러지 4 L에 BIO-CLOD 고형물 20 g을 침적시켜 45일간 혼합 교반 하면서 기체를 포집 하여 H₂S, methyl mercaptan, ammonia, VOCs, formaldehyde의 악취물질을 측정된 결과이다. Fig. 9에 나타낸 것과 같이 14일경과 후부터 H₂S는 68%, methyl mercaptan은 74%로 급격히 감소하였다. 반면에 VOCs는 감소율이 완만하였으며 ammonia는 증가하였는데 이는 슬러지 내의 분해되지 않은 유기물에 의한 것으로 총 고형물중의 유기물함량은 초기

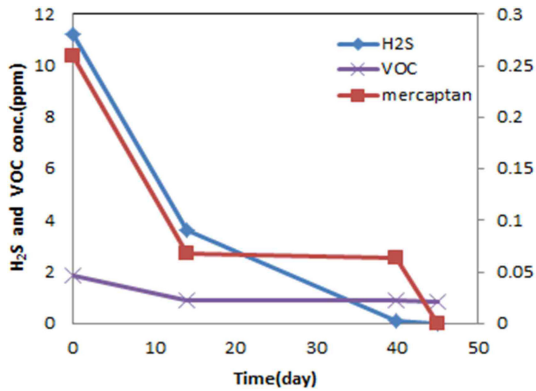


Fig. 9. Variation of hydrogen sulfide, methyl mercaptan and VOC concentration during study period.

Table 3. Concentration of odor from sewage sludge for 45 days. (unit : ppm)

duration (day)	H ₂ S	methylmercaptan	NH ₃	VOCS
0	11.25	0.259	0.001	1.856
14	3.613	0.068	0.021	0.90
40	0.082	0.063	0.059	0.90
45	ND	ND	0.047	0.858

에 81%에서 45일 후에는 76%로서 적은 양의 유기물의 분해가 있었기 때문으로 판단된다.

IV. 고 찰

하수 슬러지의 탈수실험에서는 분말BIO-CLOD 주입량에 따라 탁도는 서서히 낮아지는 반면 pH의 영향은 크지 않았다. 탈수능에 있어서 온도는 증가하면 여과에 저항이 되는 점성이 감소하기 때문에 온도가 높을수록 비저항 계수는 낮아지며 탈수가 수월하게 된다. 반면 pH는 높아질수록 비저항 계수 역시 높아지는 것으로 적정 pH는 6~7에서 가장 작은 비저항 계수를 나타낸다⁴⁾고 한 것을 참고할 때 pH의 영향을 받지 않음으로 추가적인 pH의 조절이 반드시 필요하지 않음을 알 수 있었다.

분말BIO-CLOD 주입량을 증가시킴에 따라서 탈수케이크의 비저항 계수 값(SRF)의 변화에서는 감소되다가 증가되는 것을 볼 수 있는데 이는 BIO-CLOD입자가 탈수케이크의 압축 성을 저감시켜주는 적정량이상으로 주입하면 탈수케이크의 비저항의 감

소율은 둔화되어 슬러지 입자의 특성보다는 BIO-CLOD입자의 특성이 전체 탈수케이크의 특성을 결정하기 때문에 비저항의 감소율은 둔화되는 것으로 판단된다.

또한 하수 슬러지 내 SiO₂의 함량 비율은 높을수록 친 탈수 성 경향이라고⁸⁾하였다. 분말BIO-CLOD는 SiO₂ 20.8%이고, bentonite은 SiO₂ 56.8%로서 슬러지의 탈수성에 어떤 영향을 주는 가를 비교하였을 때 bentonite은 주입량에 비하여 비저항 값은 급격히 증가하는 경향을 보여주었다. 따라서 bentonite은 난 탈수성임을 확인할 수 있었다.

석회석을 이용한 소화 슬러지 탈수에 의하면 100mesh를 적절한 크기로 평가하였으나¹⁴⁾본 연구에서는 분말 BIO-CLOD와 100mesh의 BIO-CLOD와 시판되고 있는 200 mesh의 bentonite를 단순 비교한 것에서는 입경이 작을수록 오히려 비저항 계수는 더 커지는 형태를 보였는데 이는 슬러지 입자의 특성보다는 개량제가 오히려 슬러지 공극을 막는 역할을 한 것으로 판단되었다.

슬러지 침강성에서는 분말BIO-CLOD주입후 30분의 일정시간 후 침강부피를 측정된 결과 초기(t=0)에 비해 침강이 많이 이루어졌으며, 주입율 1-5%을 증가시킬 수록 분말BIO-CLOD는 62%까지 침강하는 것을 보여준 반면 입경100mesh의 BIO-CLOD와 bentonite는 거의 고액분리가 일어나지 않았다. 따라서 입경100 mesh로 분쇄하는 추가공정은 하지 않아도 될 것임을 알 수 있었다.

탈취능 실험에서 하수 슬러지는 50% 이상의 유기물함량으로 인해 고유의 악취제거가 쉽지 않지만 탈취효과가 큰 활성탄 흡착방법은 흡착능의 한계치로 인해 흡착제의 사용기간이 단축되는 단점이 있다. 따라서 현재 가동되고 있는 탈취설비는 매우 미흡하고 운전효과가 높지 않은 실정에서 다공성이며 불활성 특성을 갖는 무기개량제의 개발이 필요로 한다.

악취물질 제거 가능성을 보기 위한 기체 시료를 분석에서는 14일 경과 후 H₂S는 초기농도에 비해 68%, methyl mercaptan는 74%로 감소되었고, 45일 후에는 두 항목 모두 100%감소가 일어남으로써 탈취 가능성을 보였다. 이로서 고품질의 BIO-CLOD는 연속적으로 용출될 수 있음을 보여주었고, 새것으로 교체하지 않아도 연속 사용할 수 있는지에 대한 연구를 필요로 한다.

현재 슬러지 탈수를 위해 널리 사용되고 있는 알

루미늄계 응집제[Al₂(SO₄)₃, poly aluminum chloride]는 응집효과가 좋고 pH의범위가 넓으며, 슬러지의 탈수율을 높이는 경제적인 장점이 많으나 알루미늄이 응집 슬러지나 탈수된 슬러지에 함유되어 배출된다. 더구나 슬러지 케익으로 최종 매립될 경우 토양의 알루미늄의 용출이 우려되는 것에 비해 대체 개량제로서 BIO-CLOD는 탈수능과 탈취 능의 가능성을 보였고, bentonite는 슬러지 케익의 최종매립 시 토양복원에 장점이 있음을 알 수 있었다.

V. 결 론

기존의 하수고도공정에서 유기물 및 영양 염류 제거 이외에 악취 제거능에서 효과가 있음을 보여준 BIO-CLOD를 사용하여 탈수능과 탈취능 실험을 수행하여 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

1. 하수 슬러지에 분말BIO-CLOD를 주입하여 슬러지 탈수능(SRF)을 비교 실험한 결과, 분말BIO-CLOD의 최적 주입량은 2 w/v%로 나타났으며, 이때의 SRF값은 1.35×10¹² m/kg이었다. BIO-CLOD의 주입에 따른 pH 변화가 6.5~7.0 이내로 무기개량제로서 BIO-CLOD가 pH의 변화에 영향을 미치지 않는 안정적인 슬러지 개량제임을 확인할 수 있었다.

2. 무기개량제의 입경크기에 대한 하수 슬러지의 탈수율을 비교하고자 분말BIO-CLOD와 입경100mesh BIO-CLOD 및 bentonite에 대해 침강 실험을 한 결과는 분말BIO-CLOD에서 주입량이 많아질수록 침강성도 30분후 62%까지 침강하는 것을 알 수 있었다

3. 하수 슬러지에 BIO-CLOD 고형물을 침적시킴으로 용출되는 성분으로 인한 영향을 검토하였다. 악취물질제거를 위한 기체 시료에서는 14일 경과 후부터 H₂S는 68%, methyl mercaptan은 74%로 감소하였으며 45일후에는 두 항목 모두 100%감소가 일어남으로써 탈취가능성을 보였다.

References

1. Ministry of Environment. Environ. Statistics Year book. Available: http://www.me.go.kr/home/web/policy_data/read.do?menuId=10264&seq=6436 2013.pdf [accessed 1 June 2015].
2. Lee CG, Hwang EJ, Kang SJ, Bin JI, Lee BH. Reduction and stabilization of sewage sludge by ozonation. *J. of Korean Soc. on Water quality*.

- 2004; 20(3): 290-295.
3. Hwang SY, Shon JR, Lee YS. The effect of ozone of the improvement of dehydration in treatment of sewage sludge measuring SRF. *Korean Journal of Environ. Health Soc.* 1993; 19(4): 44-50.
4. Nam YW, Park TU. The characteristics of VFAs formation from dewatered sewage sludge by hydrogen peroxide. *Journal of Korean Soc. of Environ. Eng.* 2004; 26(6): 649-656.
5. Kwon JH, Park J H, Kwon DY. The improvement of sewage sludge dewaterability using H₂O₂ and Iron salts. 2003 Academic Conference *Journal of Korean Society on Water quality*. 2003; B55-B58.
6. Na SM, Park JH, Kim YU, Kim JH. Enhanced dewaterability and physico-chemical characteristics of digested sewage sludge by ultrasonic treatment. *J. of Korea Soc. of Was. Man.* 2005; 22(7): 637-644.
7. Oh C, Kim YU, Kim BI. Enhanced waterability of sewage sludge by ultrasonic treatment. *J. of Korea Soc. of Was. Man.* 2002; 19(3): 927-932.
8. Lee JE. A study on thermal dewatering for improving the dewaterability of the municipal wastewater sludge. *J. of Korean Soc. of Environ. Eng.* 2004; 26(5): 601-609.
9. Lee BH, Bang MH, Kim GH. Volume reduction of waste water sludge using electrolysis. *J. of Korean Soc. on Water quality*. 2006; 22(2): 264-270.
10. Sung IW. The effect of the use of sodium hypochlorite and iron salts on sewage sludge dewaterability. *Korean Journal of Environ. Health Soc.* 2009; 35(1): 58-63.
11. Jang MJ, Sung IW. Improvement of sewage sludge dewaterability with NaOCl and Metal salt. *Journal of Koren Soc. of Urban Environ.* 2011; 11(3): 311-317.
12. Kim EH, Shim EG, Lee MK, Kwak C, Park IS, Hwang YG. Recycling of waste oyster shell for improvement in digested sludge dewaterability. *J. of Korean Ind. and Eng. Chem.* 2000; 11(2): 176-182.
13. Zemmmouri H, Mameri N, Lounici H. Chitosan use in chemical conditioning for dewatering municipal-activated sludge. *Water Science & Technology*. 2015; 71(6): 810-816.
14. Kim EH, Seo JY. A study on improving dewaterability and determining optimum condition of digested sludge using limestone. *Korean J. of Environ. Health Soc.* 2004; 30(3): 239-244.
15. Park WC, Lee MA, Sung IW. Nutrient removal in an advanced treatment process using BIO-CLOD. *Korean Journal of Environ. Health Soc.* 2014;

- 40(4): 322-329.
16. Seo JW, Song TJ, Park JW, Lee TH, Lee SM. Characteristics of sludge dewaterability and viscosity with polymer flocculant addition. *J of Korean Soc. of Environ. Eng.* 1996; 18(12): 1609-1618.
 17. Namgung HK, Shin SK, Hwang SJ, Song JH. Transient behaviors of a two-stage biofilter packed with immobilized microorganisms when treating a mixture of odorous compounds. *J of Korean Soc. of Environ. Eng.* 2010; 32(12): 1126-1133.
 18. APHA, AWWA, WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater, 21st.; 2005.p.2.56-60.