

BIO-CLOD를 이용한 소화슬러지의 악취저감에 대한 연구

성일화*

¹가천대학교 환경에너지공학과

The Study on the Odor Removal of Digested sludge using BIO-CLOD

Il-Wha Sung^{1*}

¹Department of Environmental & Energy Engineering, Gachon University

요약 본 연구에서는 하수처리장의 소화슬러지(digest sludge)를 대상으로 악취제거 및 유기물제거에 대한 타당성을 검토하고자 BIO-CLOD를 넣은 반응조와 넣지 않은 반응조에 대하여 24시간, 48시간, 72시간 후 ammonia, methyl mercaptan(MMC) 및 H₂S에 대해서 측정하였다. BIO-CLOD를 침적시킨 반응조(BIO-CLOD)에서 24시간 내에 ammonia는 48%인 것에 비해 H₂S와 MMC는 98%이상의 높은 제거율을 보인 반면에 BIO-CLOD를 침적시키지 않은 반응조(Non BIO-CLOD)에서는 24시간 내에 ammonia가 45%, H₂S는 71%, MMC는 84%로서 악취제거 가능성을 보였다. 암모니아 농도는 시간이 지남에 따라 감소하면서 질산성질소농도는 증가하는 질산화 현상을 보였으며, 소화슬러지내의 유황계 악취성분들이 호기성 미생물들에 의해 산화 분해되어 용액 중의 황산염농도를 증가시키는 데는 BIO-CLOD효과가 있었음을 알 수 있었으며, 황산염농도증가와 대기중의 H₂S 제거율간에는 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 반응조 유출수에서 유기물의 감소는 짧은 시간 내에서는 BIO-CLOD가 영향을 주지 않았으며, HRT 12시간과 HRT 24시간으로 운전하였을 때 경제적인 면에서 HRT 12시간을 고려해야 할 것으로 판단되었다.

Abstract In this study, to investigate the feasibility of malodorous substance and organic matter removal by digest sludge in sewage treatment plants, ammonia, methyl mercaptan(MMC), and hydrogen sulfide(H₂S) in a reactor submerged with BIO-CLOD(BIO-CLOD) and a reactor not submerged with BIO-CLOD(Non BIO-CLOD) were measured at 24 hours, 48 hours, and 72 hours after the submergence of BIO-CLOD. Whereas the reactor in which BIO-CLOD was submerged showed an ammonia removal rate of 48% and high H₂S and MMC removal rates exceeding 98% in 24 hours, the reactor in which BIO-CLOD was not submerged showed an ammonia removal rate of 45%, an H₂S removal rate of 71%, and an MMC removal rate of 84% in 24 hours indicating the possibility of removal of malodor using BIO-CLOD. A nitrification was shown in which ammonia concentrations decreased over time while nitrate nitrogen concentrations increased and sulfur based malodor components were oxidation decomposed indicating that BIO-CLOD had effects to increase sulfate concentrations in the solution and that sulfate concentration increases and atmospheric H₂S removal rates were correlated with each other. With regard to decreases in organic matter in reactor effluents, BIO-CLOD did not affect in a short period of time and when reactors were operated with HRT 12 hours and HRT 24 hours, HRT 12 hours was considered desirable in terms of economy.

Keywords : BIO-CLOD, digested sludge, H₂S, odor removal

1. 서론

악취방지법에서 악취는 황화수소, 메르캡탄류, 아민류, 그 밖에 자극성이 있는 기체상태의 물질이 사람의 후

각을 자극하여 불쾌감과 혐오감을 주는 냄새로 정의하고 있으며[1], 발생물질의 종류와 배출원에 따라서 다양하고, 악취 저감을 위해 다양한 방법이 제시되고 있으나 아직은 미흡한 실정이다.

*Corresponding Author : Il-Wha Sung (Gachon Univ.)

Tel: +82-31-750-5592 email: iwsung@gachon.ac.kr

Received October 23, 2015

Revised November 27, 2015

Accepted December 4, 2015

Published December 31, 2015

생활환경과 밀접한 관련이 있는 하수처리장에서 발생되는 악취물질은 산업단지에서 배출되는 유해물질과는 다르게 분류되어야 하지만 혐오시설로 분류되어 처리장 주변의 생활환경의 질을 저하시키므로 자연 친화적인 처리로 악취를 저감한다면 바람직하다고 할 수 있다.

하수처리장에서 발생하는 슬러지 종류로서 1차 침전지에서 발생하는 슬러지는 체류시간과 설계조건에 따라서 침전지 바닥의 혐기성구역이 형성되고 이로 인해 암모니아와 황화수소가 생성될 수 있다. 생물학적 처리를 하게 되는 2차 슬러지는 대부분 호기성처리로 인해 악취물질은 생성되지 않으며 1차 슬러지보다는 수분양이 많게 된다. 그 외에 1차와 2차 슬러지를 농축한 슬러지와 이들 슬러지를 소화시킨 소화슬러지는 탈수 시켜 최종 처분될 때 악취를 발생하게 된다. 대부분의 슬러지는 고농도의 유기물과 수분을 함유하고 있고 하수도로 유입되는 산업폐수에 의해 악취 종류가 더욱 복잡적이 되고 있다.

악취물질의 제어방법으로 흡착, 수세, 희석, 흡수, 중화, 연소 등의 물리·화학적인방법 중에서 효율이 좋은 활성탄 흡착법은 오염물질을 안정적으로 처리하는 장점이 있지만 활성탄의 재생과 공급에서 비경제적이다. 생물학적인 방법으로는 미생물이 존재하는 매개체에 의한 여과로써 미생물의 활동을 촉진시키는 바이오필터 등의 방법을 들 수 있다[2, 3, 4]. 물리화학적인 처리방법에 비해 운전이 용이하며 처리비용이 낮고 부산물에 의한 2차 오염이 적다는 장점이 있어 다양한 악취제거에 사용되어지고 있으나 충격부하에 대한 적응성이 떨어지는 단점이 있다.

BIO-CLOD의 주성분은 자연에서 쉽게 성장하는 토양미생물인 *Bacillus*류에 응집효과가 있는 철분 및 규산분을 첨가 가공한 것으로 성[5]은 기존의 고도처리공정에서 BIO-CLOD를 포기조 내에 침적시켜 활성 슬러지와 접촉시킴으로써, 유기물 및 영양염류의 제거 효율을 보여 주었다. 본 연구에서는 하수처리장의 소화슬러지를 대상으로 BIO-CLOD를 적용하여 악취제거 및 유기물제거에 대한 타당성을 검토하여 수행하였다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 실험재료

본 연구에 사용된 시료는 서울의 N하수처리장의 소화 슬러지를 이용하였으며 소화 슬러지의 성상은 Table

1과 같으며, 사용된 BIO-CLOD(Biomeca Inc. Korea)는 시판되고 있는 것으로 *Bacillus* 농축액 10%와 기타 물질을 넣어 고형화한 것이다. *Bacillus*는 공기 중은 물론 토양, 건초, 먼지 등 자연계에 널리 분포하는 호기성 또는 통성혐기성의 간균으로 하수처리에 이용되고 있다[5, 6]. BIO-CLOD화학조성은 탄소28%, 알루미늄 4.1%, 질소 2.8%, 유황2.0%, 규소 9.7%, 칼슘 3.6%, 일반세균 $2.4 \times 10^8 \sim 1.6 \times 10^{11}$ cfu/g, 수분10%이었다.

Table 1. Characteristics of the digested sludge used for the experiment

Item	Range	Average
pH	7.2-7.5	7.6
BOD (mg/L)	1,670-1,880	1,760
COD _{cr} (mg/L)	22,890-34,200	28,600
COD _{Mn} (mg/L)	5,400-6,940	6,100
TOC(mg/L)	335-570	473
TS (mg/L)	24,960-30,000	27,000
VS (mg/L)	13,700-16,840	15,000
TKN (mg/L)	1,510-1,850	1,760
NH ₃ -N(mg/L)	809-888	844
NO ₃ -N (mg/L)	0.56-6.85	4.24
SO ₄ -S(g/L)	4.5-87	34
T-N (mg/L)	1,710-1,770	1,740
T-P (mg/L)	445-520	470

2.1 실험 장치 및 방법

실험장치는 Fig. 1에 도시된 바와 같이 시료 저장조와 air flow를 조절한 밀폐된 포기 반응조로 구성하였으며, 포기조 반응조에는 BIO-CLOD고형물 50g를 침적시킨 반응조(BIO-CLOD)와 침적시키지 않은 대조구 반응조(Non BIO-CLOD)를 HRT가 12시간과 24시간이 되도록 유량 조절을 하였다. 포기 반응조의 크기는 직경이 13cm이고, 높이가 35cm인 원통형 아크릴로 제작하여 유효용적이 4L가 되도록 하였다.

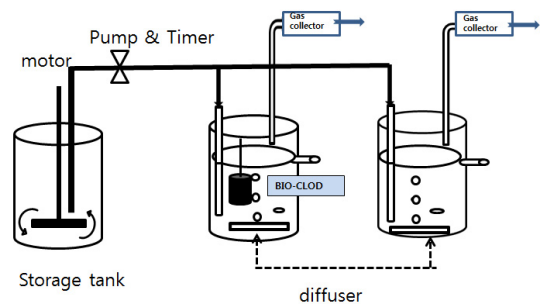


Fig. 1. Schematic diagram of the experimental apparatus

유입수는 상부의 유입구를 통하여 펌프로 유입시켰으며 처리수는 반응기 하단측의 유출구를 통하여 유출시켰다. 악취시료채취는 반응조 상단의 가스 유출관 중간에 가스를 포집할 수 있는 채취구를 설치하여 항목에 따라 테슬러 백 혹은 가스 흡수관을 통해 시료를 포집하였으며, 발생 가스의 조성은 24시간, 48시간 및 72시간 후 채취한 시료에서 악취물질분석을 하였으며, 측정항목은 H₂S(GC/PFPD, Varian CP3800), methylmercaptan(GC/NPD, Varian CP3800), ammonia(ShimadzuUV1601PC), VOC(GC/MSD, Agilent6890/5973), Formaldehyde(HPLC, Varian prostar230)를 분석하였다.

유출수의 수질을 위해서는 유출구에서 시료 채취하여 유기물과 영양염류를 3회씩 Standard Methods[7] 및 수질오염공정시험법에 준하여 필요한 분석을 실시하였으며. 분석항목과 사용기기는 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Summary of the analytical methods

Parameter	Instrument and method
pH	pH meter(Fisher, Accumet 25)
BOD	Standard method 2320B (YSI 57)
COD _{Cr}	Milton Ray Com. Spectronic21
TS	Sanyo MOV-112
TKN	Kjeltec TM2200
NH ₃ -N	Kjeltec TM2200
NO ₃ -N	Shimadzu, LC-10A
SO ₄ -S	Shimadzu, LC-10A
T-P	Shimadzu, 1601
Gas Content	Gas Chromatograph(Varian CP-3800, PFPD, TSD)

3. 연구결과 및 고찰

3.1 유기물

반응조에 유입되는 유입수 특성은 BOD 1,760mg/L, COD_{Mn} 6,100mg/L(COD_{Cr} 28,600mg/L), TOC 473mg/L이고 TKN 1,760mg/L로 아직 유기물농도가 높은 편이다. 혐기성 반응조에서 소화가 끝난 소화슬러지에서 공기를 공급함으로써 호기성 미생물은 황화물을 황산염 또는 악취를 발생시키지 않는 황 함유물질로 산화시키며, 환원된 상태의 유기성, 무기성 악취물질은 호기성미생물의 먹이로 섭취 분해된다. 또한 미생물 증식속도도 혐기성 미생물에 비해 크기 때문에 반응기에 공기를 주입시켰다. BIO-CLOD를 침적시킨 반응조(BIO-CLOD)와 BIO-CLOD를 침적시키지 않은 반응조(non BIO-CLOD)에 대하여

시간에 따른 COD, BOD 및 TOC 농도변화를 Fig 2에 나타내었다.

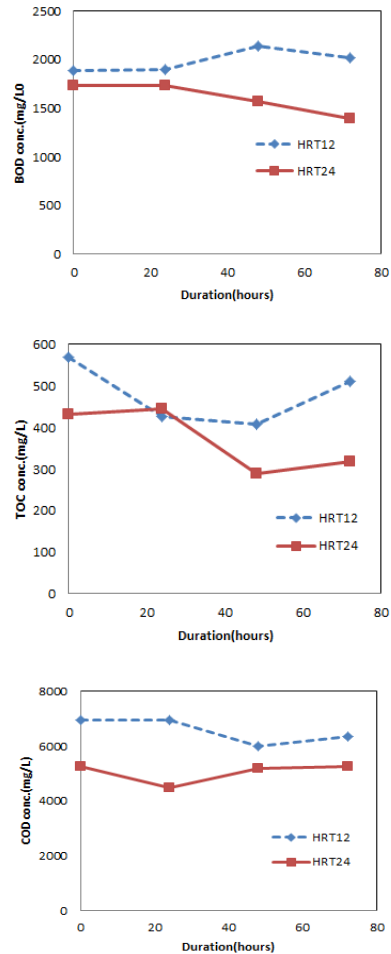


Fig. 2. Variation of COD, BOD and TOC by different HRT.

반응조 체류시간 HRT 12시간에서는 BIO-CLOD 침적 유무에 상관 없이 유출수의 유기물농도는 유입수에 비해 감소가 미미하였다. 이는 혐기성에서 호기성으로 전환이 이루어졌고 짧은 시간에 고농도의 유기물이 분해하기에는 시간이 요함을 알 수 있었다. 반면 충분한 체류시간인 HRT 24시간에서는 시간이 경과 함에 따라서 유출수의 BOD와 TOC는 감소의 형태를 나타냈다. HRT 24시간이 HRT 12시간에 비해 유출수에서 낮은 농도를 보여주었지만 HRT를 높이면 반응조 크기가 커지고 공기공급 등 에너지 면에서 경제적이지 못하므로 HRT 12

시간을 고려해야 할 것으로 판단되었다.

Table 3은 HRT 12시간에서의 BIO-CLOD를 침적시킨 반응조와 침적시키지 않은 반응조에서 경과시간에 대한 농도 변화이다. 유기물농도 차이가 크지 않고 오히려 증가하는 면도 있으며, 총고형물에 대한 휘발성고형물(VS/TS)비에서도 같은 경향을 볼 수 있었다. VS/TS는 전체 고형물에 대한 유기물비율로서 유입수에서는 56%, 24시간 후는 57%, 48시간 후는 64%, 72시간 후에는 65%로서 증가를 보임으로서 유기물량의 증가를 확인되었다. 이는 BIO-CLOD 성분에서 10%를 차지하는 *Bacillus*에 의한 미생물 성장과 기타의 성분이 용출되는 것으로 판단된다.

Fig. 3은 혐기성 상태에서 호기성으로 전환에 따른 충격부하에 대한 영향을 검토하고자 활성슬러지로 식중환 BIO-CLOD와 식중 안한 BIO-CLOD 및 nonBIO-CLOD에 대해서 유출수의 BOD를 비교하여 나타내었다.

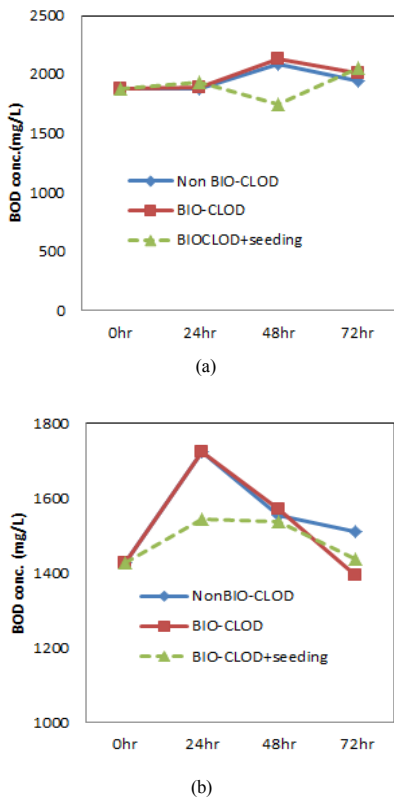


Fig. 3. Variation of effluent BOD concentration with seeding material at (a) HRT 12hours, (b) HRT 24hours.

식중효과는 HRT 12시간(Fig.3 A)에서는 폭기 후 24 시간까지는 비슷하였고 48시간 후부터 식중의 효과가 나타났지만 HRT 24시간(Fig.3 B)에서는 식중효과가 식중환 BIO-CLOD에서 곧바로 나타나면서 구별되었는데 이는 체류시간이 길게 되므로서 식중환 반응기에서 미생물활동이 활성화되어 유기물제거가 일어났음을 알 수 있었다. 그러나 72시간에서는 모든 반응조에서 차이를 보이지 않음으로서 식중의 효과는 크지 않으므로 식중이 꼭 필요한 조건이 되지 않았음을 알 수 있었다.

3.2 영양염류

BIO-CLOD침적에 따른 유출수에서의 영양염류 변화율에서 HRT12시간에서는 Fig 4에서와 같이 암모니아 농도는 시간이 지남에 따라 감소하면서 질산성질소농도는 증가하는 질산화 현상을 보이고 있다. 그러나 긴 HRT24시간에서는 충분한 체류시간으로 인해 질산화가 끝난 형태를 나타내고 있으며, BIO-CLOD침적에 의한 변화는 크지 않았음을 보여주었다.

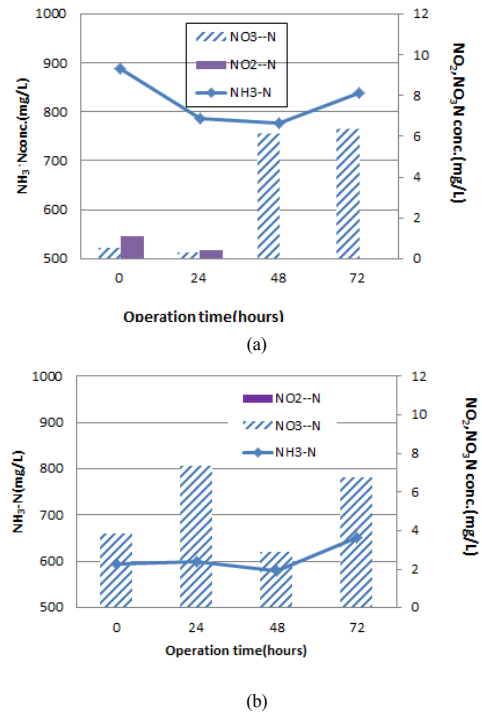


Fig. 4. Variation of effluent NH₃-N, NO₂-N and NO₃-N at (a) HRT 12hours, (b) HRT 24hours.

Fig.5는 유출수에서의 황산염농도변화로서 시간이 지남에 따라서 황산염농도는 증가하였고 BIO-CLOD를 침적한 반응기에서 더욱 활발하였다. 따라서 이는 혐기성상태의 소화 슬러지내에 있었던 유황분을 산화시켜 황산염으로 빠르게 진행시키는 데 BIO-CLOD영향이 있는 것으로 판단된다. HRT12시간 비해 HRT 24시간에서 더욱 황산염농도가 높았으며, 이 또한 슬러지내의 유황계 악취성분들이 호기성 미생물들에 의해 산화 분해되어 용액 중의 황산염농도를 증가시킨 원인으로 보인다.

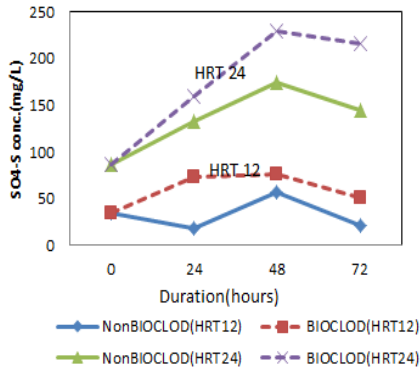


Fig. 5. Effects of HRT on a effluent sulfate concentration.

3.3 악취물질

BIO-CLOD반응기와 Non BIO-CLOD 반응기 상단의 가스 유출관을 통해 24시간, 48시간 및 72시간 후 채취한 시료에 대해 악취방지법의 지정악취물질 16종을 측정분석 하였다(Table 4). 소화슬러지의 NH₃ 초기농도는 3.1ppm으로 공업지역 배출허용기준 2ppm보다 더 높게 측정되었으며, MMC(methylmercaptan)는 0.184ppm으로 공업지역 배출허용기준 0.004 ppm이하 보다 높았으

며, H₂S는 0.44 ppm으로 공업지역 배출허용기준 0.06ppm보다 높았다.

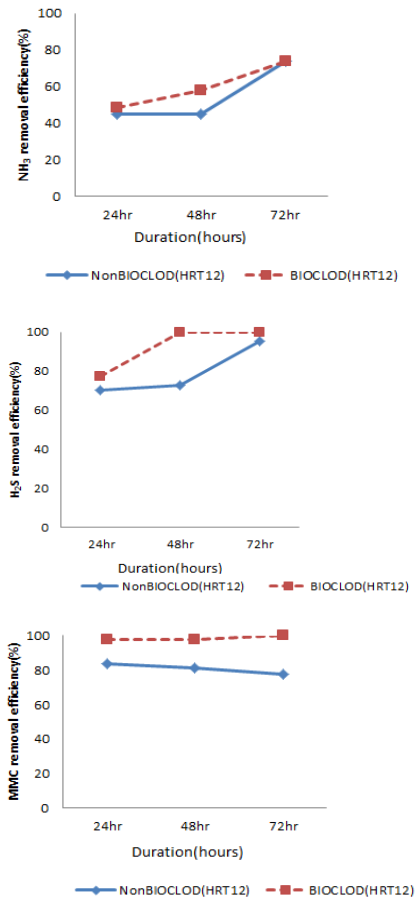


Fig. 6. Removal efficiency of NH₃, H₂S and MMC at the HRT 12hours.

Table 3. Characteristics of effluent concentration of BIO-CLOD reactor and Non BIO-CLOD reactor at HRT 12hours.

Item	Effluent(24 hours)		Effluent(48 hours)		Effluent(72 hours)	
	Non BIO-CLOD	BIO-CLOD	Non BIO-CLOD	BIO-CLOD	Non BIO-CLOD	BIO-CLOD
pH	8.6	8.6	8.5	8.6	8.6	8.7
DO (mg/L)	6.82	6.12	7.3	7.1	8.6	9.3
BOD (mg/L)	1,880	1,890	2,084	2,140	1,940	2,000
COD _{Mn} (mg/L)	6,660	6,940	5,960	6,010	6,360	6,360
TOC (mg/L)	571	426	447	409	558	512
TS (mg/L)	29,800	29,900	21,700	32,200	30,700	21,000
VS (mg/L)	16,980	16,840	17,980	18,300	17,880	17,400
NH ₃ -N (mg/L)	753	786	770	780	842	839
TKN (mg/L)	1,830	1,850	1,850	1,880	1,850	1,820
NO ₃ -N (mg/L)	0.34	0.43	9.79	6.12	6.36	6.36
SO ₄ -S(mg/L)	18	73	56	76	21	50
T-N (mg/L)	1,830	1,850	1,860	1,880	1,860	1,830
T-P (mg/L)	530	547	561	540	536	548

Table 4. Characteristics of malodorous substance in BIO-CLOD reactor and non BIO-CLOD reactor at HRT 12hours.

Unit : ppm

Item	ohr	24hr		48hr		72hr	
		nonBIO-CLOD	BIO-CLOD	nonBIO-CLOD	BIO-CLOD	nonBIO-CLOD	BIO-CLOD
Ammonia	3.1	1.7	1.6	1.7	1.3	0.8	0.8
Methylmercaptane	0.184	0.030	ND	0.034	0.004	0.041	0.004
Hydrogen sulfide	0.44	0.13	0.10	0.12	ND	0.02	0.00
Dimethyl sulfide	0.53	0.08	0.00	0.10	0.04	0.08	0.01
Dimethyl disulfide	0.685	0.067	0.000	0.085	0.010	0.010	0.009
Styrene	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	ND
Toluene	0.29	0.06	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
Xylene	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Methyl ethyl ketone	0.05	0.04	0.04	0.02	0.02	0.01	0.01
Methyl isobutyl ketone	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Butyl acetate	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Propionic acid	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
n-Butyric acid	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
n-Valeric acid	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
i-Valeric acid	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
i-butyl alcohol	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

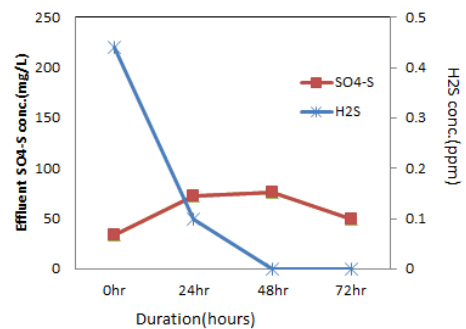
ND : Not detected

Fig. 6에서 보는바와 같이 HRT 12에서의 소화슬러지 에서 매우 높게 배출되는 NH₃, MMC 및 H₂S에 대해서 BIO-CLOD를 넣은 반응조에 대하여 24시간 후 측정된 NH₃ 제거율은 48%인 반면에 H₂S와 MMC는 98%로서 NH₃에 비해 H₂S와 MMC 제거율은 높았다. 48시간 후 측정된 NH₃ 제거율은 58%이었지만 H₂S와 MMC는 98%였고, 72시간 후에는 NH₃ 제거율 74%, H₂S와 MMC는 100%로서 NH₃에 비해 H₂S와 MMC 모두 24시간 후에는 98%이상이 제거 됨으로써 24시간 내의 악취제거 가능성을 보였다.

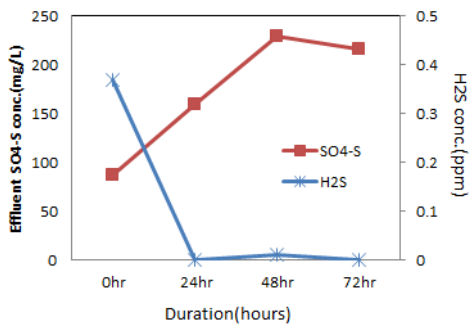
BIO-CLOD를 침적시키지 않은 반응조(Non BIO-CLOD)에서는 24시간 후 측정된 NH₃ 제거율은 45%, H₂S는 71%, MMC는 84%였고, 48시간 후 측정된 NH₃ 제거율은 45%, H₂S는 73%, MMC는 82%이었으며, 72시간 후에는 NH₃ 제거율은 74%, H₂S는 95%, MMC는 78%로서 BIO-CLOD를 침적시킨 것에 비해 제거율이 낮음으로써 BIO-CLOD의 침적은 제거율의 향상에 영향을 미친 것으로 판단되었다.

체류시간을 높인 HRT 24에서는 BIO-CLOD반응조에서 24시간 후에 NH₃ 제거율은 68%이상이었으나 H₂S는 100%, MMC는 96%이상의 높은 제거율을 보였으며, Non BIO-CLOD 반응조에서 24시간 후에 NH₃ 제거율은 64%이상이었고, H₂S는 98%이상, MMC에서도 93%이상의 제거율을 보여줌으로써 또한 NH₃에 비해 MMC와 H₂S의 탈취 능이 높게 나타났다.

악취제거의 원인은 혐기성에서 소화시킨 후의 소화슬러지를 호기성 상태를 위해 공급되는 공기에 의한 미생물의 증식이 BIO-CLOD를 이루고 있는 *Bacillus*에 의해 더욱 활성화되어 악취 저감에 영향을 주었을 것으로 판단된다. 정[6]등은 *Bacillus*슬러지농도가 증가함에 따라서 TON(threshod odor number)값이 감소되는 상관 관계가 성립되며 악취감소에 영향을 주는 인자로 보았다. 허[9]등 도 유황계 악취성분이 생물학적 산화로 인해 황산이온의 농도는 점차 증가하며, 용액중의 황산염농도 증가와 악취농도 H₂S 제거율간에는 상관관계가 높다고 했으며, 유황균의 체내에 유황이 축적되는 것을 확인하였다. 혐기성 상태에서는 황산염이 환원되어 대기 중으로 유황성분이 배출되지만 호기성 상태에서는 유황분이 황산염으로 산화되고 용액 중에서 악취제거가 일어나고 있음을 나타내고 있었다.



(a) HRT 12 hours



(b) HRT 24hours

Fig. 7. Relation between hydrogen sulfide and effluent sulfate concentration..

또한 체류시간을 증가시키는 경우인 HRT12에 비해 HRT24에서 더욱 황산염의 농도가 높으며 H₂S의 제거율은 더욱 높게 나타났다.(Fig.7).

4. 결론

본 연구에서는 하수처리장의 소화슬러지를 대상으로 BIO-CLOD를 적용하여 악취제거 및 유기물제거에 대한 타당성을 검토하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) BIO-CLOD를 침적시킨 반응조(BIO-CLOD)에서는 24시간 후에 NH₃제거율은 48%인 것에 비해 H₂S와 MMC는 98%이상의 높은 제거율을 보였으며, BIO-CLOD를 침적시키지 않은 반응조(Non BIO-CLOD)에서는 24시간 후에 NH₃제거율은 45%, H₂S는 71%, MMC는 84%로서 악취제거 가능성을 보였다.
- 2) 암모니아 농도는 시간이 지남에 따라 감소하면서 질산성질소농도는 증가하는 질산화 현상을 보였으며, 소화슬러지내의 유황계 악취성분들이 호기성 미생물들에 의해 산화 분해되어 용액 중의 황산염 농도를 증가시키는 데는 BIO-CLOD효과가 있었음을 알 수 있었으며, 또한 황산염농도와 대기중의 H₂S 제거율간의 상관관계가 있음을 알수 있었다.
- 3) 반응조 유출수에서 유기물의 감소는 짧은 시간내에서는 BIO-CLOD가 영향을 주지 않았으며, HRT 12시간과 HRT 24시간으로 운전하였을 때

경제적인 면에서 HRT 12시간을 고려해야 할 것으로 판단되었다.

Reference

- [1] Ministry of Environment, Malodor prevention act, 2014. 9. 25
- [2] Chen L., Hoff S., Cai L.,Koziel J., Zelle B.,“Evaluation of wood chip-based biofilters to reduce odor, hydrogen sulfide, and ammonia from swine barn”, J. Air & Waste Manage. Assoc., 59(5), pp. 520-530, 2009. DOI: <http://dx.doi.org/10.3155/1047-3289.59.5.520>
- [3] Lee T.J., Kweon O. Y., An S. J., “ Removal of odor causing compounds using adsorption of crushed refuse-tire and phenol oxidizing bacteria, cryptococcus terreus A”,J. of Korean Soc of Environ Eng, 22(9), pp.1601-1607, 2000.
- [4] Ko B. C., Park Y. H., Kim D. I., Lee M. G., Kam S. K., “Odor removal characteristics of biofilters in domestic sewage treatment facilities analyzing composite odor and odor quotient” J. of the Environ Sciences , 22(1), pp. 109-117, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.5322/JES.2013.22.1.109>
- [5] Park W.C., Lee M.A., Sung I.W., “Nutrient removal in an advanced treatment process using the BIO-CLOD”. J. of Environ Health Science, 40(4), pp.1-8, 2014. DOI: <http://dx.doi.org/10.5668/jehs.2014.40.4.322>
- [6] Jung B. G., Seong D. H., Bin J. I., Lee B. H., “Removal of odor from food wastes by nightsoil treatment sludge including Bacillus”, J. of Water Treatment, 22(5), pp.49-58, 2014.
- [7] APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th Ed., Washington DC, AHPA Pub., 2005 p.5-18.
- [8] Kim J. W., Sekyama K., Lee D. W., Kim H. O., “Odors from wastewater treatment plants”, Korean Journal of Odor Research and Engineering, 5(3), pp.180-192, 2006.
- [9] Huh M., Park C. K., “Odor control for the nightsoil treatment plant by a biological submerged deodorator with air lift aeration”, J. of Korean Soc of Environ Eng, 11(1), pp. 1-11, 1989.
- [10] Choi I., Lee H. J., Shin J. D., Kim H. O., “Evaluation of effectiveness of five odor reducing agents for sewer system osors using an on-line total reduced sulfur analyzer”, Sensors, 12, pp. 16892-16906, 2012.
- [11] Jeon J. M., Seo Y. S., Jeong M. H., Lee H. S., Lee M. D., Han J. S., Kang B. W.,“ The emission characteristics of odor compounds from environment fundamental facilities”, Korean Journal of Odor Research and Engineering, 9(2), pp. 80-89, 2010. DOI: <http://dx.doi.org/10.3390/s121216892>

성 일 화(II-Wha Sung)

[정회원]



- 1986년 2월 : 서울시립대학교 환경 공학과 (공학석사)
- 1993년 2월 : 서울시립대학교 환경 공학과 (공학박사)
- 1991년 8월 ~ 현재 : 가천대학교 환경에너지공학과 교수

<관심분야>

폐 · 하수처리, 폐기물