



관형막을 이용한 혐기소화조의 전처리 농축공정으로써 적용가능성 연구

Application of tubular membrane to thickening process as a pre-treatment of anaerobic digester

강희석·박기태·박정우·김형수*

Hee-Seok, Kang·Ki-Tae, Park·Jung-Woo, Park·Hyung Soo, Kim*

성균관대학교 수자원전문대학원

Sungkyunkwan university graduate school of water resources

ABSTRACT

The purpose of this study is to estimate the applicability of a stable anaerobic digester using a separator membrane to the preprocessing thickening process. The results of the experiments showed about a 47.16% weight loss rate for the sludge under anaerobic condition, and about 41.17% under intermittent aeration condition. The concentrations of rejection water were SCOD_{Cr} 25 mg/L, T-N 16.6 mg/L, and T-P 1.4 mg/L on the average under the intermittent aeration condition, which were lower than the concentrations of rejection water under an anaerobic condition. As for the factors affecting the reduction of the flux, correlation analyses of TTF, MLSS, SCOD_{Cr}, and EPS_{Protein}, EPS_{Polysacchride} resulted in -0.97, -0.95, -0.84 and -0.86, -0.95, respectively, which showed that TTF had the highest correlation to the reduction of the flux. In addition, it was concluded that MLSS, SCOD_{Cr} and EPS_{Protein}, EPS_{Polysacchride} also have close correlations. The results are considered to show that, in the case of the process using a tubular membrane in the preprocessing process of an anaerobic digester, an intermittent aeration condition of the thickener considering the contamination of the membrane and load of rejection water is appropriate for the stable preprocessing process.

Key words: Digestion, Auto-oxidation(Cell lysis), Tubular, Concentrate, Intermittent aeration, Sludge thickening, Membrane
주제어: 소화, 자산화, 관형막, 간헐폭기, 슬러지 농축, 멤브레인

1. 서 론

환경부의 「물 관리 종합대책」에 따라 하수관거 정비 및 하수도 보급률의 증가로 인해 2012년 기준으로 공공하수처리구역 인구보급률이 91.6%에 이르며 (Sewer statistics, 2012), 주로 생물학적 처리 시설로서 표준 활성 슬러지 변법을 적용하고 있다. 이 때 발생하는 슬러지 양은 전체 유입하수량의 약 1%로서 연간 약 3,624,451 톤이 발생되고 있다(The department of

the Environment 2012).

과거 하수슬러지는 대부분 처리비용이 저렴하고 별도 처리 설비가 불필요한 육상 직 매립과 해양투기에 의해 처리되었으나, 처리규모가 1일 10,000 톤 이상의 하수처리장에서 발생하는 슬러지의 직 매립이 2003년 7월부터 전면 금지되었으며, 이후 해양투기도 ‘런던협약 96의정서’ 의거 2012년 1월부터 전면 금지되었다 (The department of the Environment, 2008). 국내 뿐 아니라 해외에서도 슬러지 처분에 따른 법률이 엄격해짐에 따라 슬러지 처리의 중요성은 더욱 대두 되고 있으며(Quan et al., 2012) 슬러지 처리비용은 전체 운

Received 22 December 2014; Revised 13 April 2015; Accepted 15 April 2015

*Corresponding author: Hyung Soo, Kim (E-mail: sookim@skku.edu)

pp. 155-163
pp. 165-169
pp. 171-182
pp. 183-192
pp. 193-202
pp. 203-209
pp. 211-222
pp. 223-231
pp. 233-241
pp. 243-249
pp. 251-259
pp. 261-269
pp. 271-281

영비용의 약 50~60%를 차지할 정도로 높은 비중을 차지하고 있다(Guo et al., 2013).

국내하수처리장에서는 주로 농축/소화 공정으로 슬러지감량을 하고 있으며, 국내에 설치된 혐기 소화조는 68개소로 전체 하수처리시설 344개소 중 약 20% 정도지만 대규모 처리시설들이 소화조를 운영하고 있어서 전체 시설용량으로는 약 83%에 이르고 있다(Yang, 2009). 하지만 혐기 소화조의 68% 정도가 적정 운전이 이뤄지지 않고 있으며, 이중 8개소는 미가동 중인 것으로 보고되고 있다. 이러한 문제의 주요 원인은 소화슬러지 인발량, 운전온도 및 반응조 교반의 문제점 등(The department of the Environment, 2010)의 운전상 문제가 제기 되고 있으며, 특히 혐기 소화조로 슬러지 유입되는 슬러지의 농도가 일정하지 못하여 소화조 전 공정인 농축공정에 대한 중요성이 높아지고 있다(Yang, 2009). 슬러지 농도가 낮게 유입될 경우 소화조의 효율이 저하되고 이에 따라 처리수의 오염부하 증가로 인해 반류수에 대한 주 공정의 문제가 발생할 수 있으며, 또한 반응조 온도 조절을 위한 열원도 증가하는 등의 문제점을 야기할 수 있다(The department of the Environment, 2011).

국내 설치된 혐기성 소화조의 대부분은 중력식 농축조를 이용하여 슬러지를 농축하고 있으며(The department of the Environment, 2010) 이때 농축된 슬러지의 TS농도는 약 1% 전후로 보고되고 있다. 중력농축의 경우 많은 부지가 필요하며 운영 및 계절에 따라 농축율에 변화가 있어 안정적인 운전이 어려워 몇몇 처리장에서는 탈수를 목적으로 기계식 농축을 사용하기도 하며(The department of the Environment, 2010) 기계식의 경우 주로 원심농축기를 사용하고 있다(Gyeonggi research institute, 2011). 하지만 원심농축의 경우에도 유입 슬러지 농도 변화에 따라 농축슬러지 농도가 일정하지 못하는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 기존 문제점을 보완하고자 분리막을 이용하여 혐기소화 전처리로서 안정적인 슬러지 농축 방법에 대한 가능성을 평가하고자 하였다. 유입 슬러지 부하에 관계없이 안정적인 농축, 농축 상징수 부하저감 및 질량감량까지도 고려한 슬러지 처리방법을 고안하였으며, 분리막 재질로는 고농도 고형물에 적합한 관형막을 이용하였다. 농축조 내의 환경의 경우 혐기 및 간헐폭기로 구성하여 조건에 따라 투수성, 반류수 오염부하저감, 및 감량 분석

을 통해 운전성능을 비교 평가 하였다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 분리막

실험에 사용된 분리막은 국내 P사 제품의 관형막으로서 직경 1.2 cm, 길이 66 cm 공극 크기 30 nm의 PVDF (Poly-vinylidene fluoride)재질을 사용했으며 막 모듈 면적 0.025 m², 각각 1모듈씩 설치하였다.

2.2 실험 장치 및 방법

혐기 및 간헐폭기 반응조를 구현하여 31일간 90 L 반응조에 잉여슬러지를 투입하고 관형막을 이용해 연속 순환 농축하였다. 실험기간 중 잉여슬러지의 인발은 없었으며 MBR 공법을 적용한 S대학교내의 하수처리장 반송슬러지를 사용하였고 반송슬러지 성상은 Table 1과 같이 나타냈다. 간헐폭기 조건 조건은 선형

Table 1. Characteristic of the influent concentration

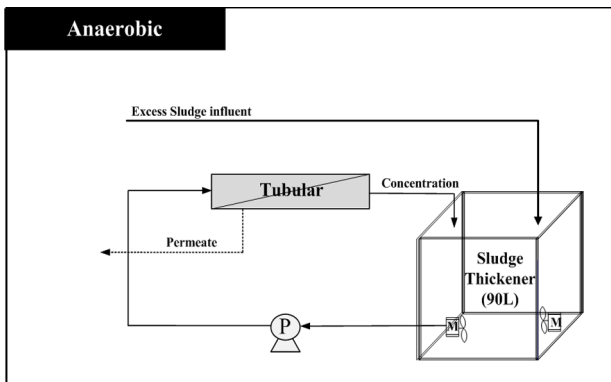
Item	Concentration (mg/L)		
	Max.	Min.	Ave.
SCOD _{Cr}	12	7	9
T-N	15.2	9.1	13.4
NH ₄ ⁺ -N	1.9	0	0.5
NO ₃ ⁻ -N	14.9	8.8	12.9
T-P	0.19	0.11	0.18
PO ₄ ³⁻ -P	0.17	0.11	0.15
MLSS	7,630	6,030	6,771
MLVSS	5,470	4,110	4,774

Table 2. Experimental methods

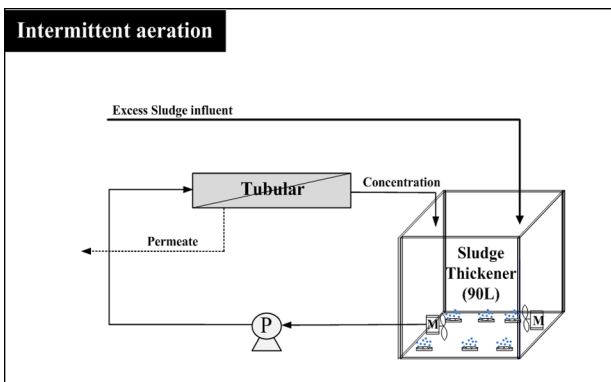
Item	Method
SCOD _{Cr}	HACH KIT (HACH DR2500)
T-N	
NH ₄ ⁺ -N	
NO ₃ ⁻ -N	
T-P	
PO ₄ ³⁻ -P	Standard method
MLSS, MLVSS	
EPS _{bound} - Protein, Polysaccharide	Thermal treatment method
TTF (Time to filter)	Standard method

**Table 3.** Experimental conditions of lab. scale reactor

Experimental condition						
Reactor Volume, L	Influent Flow Rate, L/day	Operation mode		Operation time (min)	pH	Temp. °C
		Mode 1	Mode 2			
90	16	Anaerobic	Intermittent aeration(4h/4h)	15min(filtration) 15min(break time)	6.5 ~ 8.0	20 ~ 25



(a) Anaerobic



(b) Intermittent aeration

Fig. 1. Schematic diagram of lab. scale reactor.

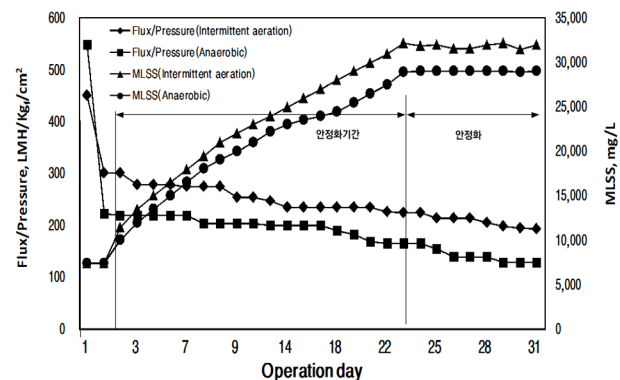
연구(Jung et al., 2006)를 참조하여 4시간-호기/4시간-혐기 조건으로 설정하였으며, 자세한 운전 방법은 상기 Table 2와 같다. 유기물, 질소, 인 등의 수질화학 분석은 HACH사의 수질 KIT를 이용하였으며 시료를 넣고 발색시킨 후 DR2500 분광광도계를 이용하여 측정하였다. EPS_{bound}(Extracellular polymeric substance)분석은 선행연구(Wang 등, 2009; Chang과 Lee, 1998)를 참조하여 열추출법을 이용하였다. 탈수성 실험은 Whatman사의 GF/C(#1)를 이용하여 시료의 절반이 필터를 빠져나가는 데 걸리는 시간인 TTF(Time to filter)실험을 통해 평가하고자 하였다. 실험기간 중 MLSS 및 MLVSS 측정은 Whatman사의 GF/C를 이용하여 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 혐기, 간헐폭기 운전성능 평가

본 연구에서는 S대 MBR 공정 반송라인에서 채취한 잉여슬러지를 16 L/d로 혐기, 간헐폭기 공정에 각각 투입하였다. 시간에 따른 Flux 감소율은 초기 1일간은 급격하게 감소되었으며 그 후 안정화되는 경향을 볼 수 있었다. 시간 경과에 따라 MLSS를 지속적으로 증가시켰을 때 혐기, 간헐폭기 공정 모두 Flux가 감소하였지만 간헐폭기 공정이 더 높은 MLSS를 유지하면서도 더 우수한 투수성을 나타내는 것을 볼 수 있었다.

농축조 조건에 따른 운전 결과 간헐폭기 공정이 연속혐기 조건과 비교하여 높은 MLSS를 유지 및 Flux를 나타냈다. 이에 MLSS농도 외에 막여과 Flux에 영향인자를 조사하였으며, 상관성을 분석하고자 하였다.

**Fig. 2.** Permeability evaluation of operation result for Sludge thickener conditions.

3.2 혐기, 간헐폭기 Flux에 영향을 미치는 인자 분석

먼저 막오염에 직접적인 영향을 준다고 널리 알려진 EPS_{bound}의 경향을 분석해 보았다. EPS_{bound} 물질은 일반적으로 단백질, 탄수화물, 핵산, 휴믹물질 등으로 이루어져 있으며 막오염의 주된 요인으로 평가된다(Lin et al., 2014, Comte et al., 2008, Drews et al., 2006). 실험기간

pp. 155-163
pp. 165-169
pp. 171-182
pp. 183-192
pp. 193-202
pp. 203-209
pp. 211-222
pp. 223-231
pp. 233-241
pp. 243-249
pp. 251-259
pp. 261-269
pp. 271-281

동안 EPS_{bound}의 경향 결과는 Fig. 3과 같이 나타냈다.

분석결과 시간 경과에 따라 EPS_{bound} 농도가 점차 감소하는 경향을 나타냈으며, 간헐폭기 조건의 경우 단당류, 단백질이 초기대비 25.6%, 57.1%가 감소하였고, 혐기조건의 경우 14.8%, 42.9% 감소하여 간헐폭기 조건이 더 많은 폭으로 EPS_{bound}가 감소하였다. 선행연구(Lim et al., 2007)을 살펴보면 폭기 기간보다 혐기 기간이 긴 반응기의 EPS_{bound}가 더 높았는데 이러한 이유는 혐기 조건 동안 세포성장이 파괴되기 때문에 EPS 농도가 더 높다고 언급하였으며 본 연구에서도 이와 유사한 결과를 도출하였다. TTF (Time to filter)는 활성슬러지의 탈수성을 측정하는 방법으로 종종 사용되고 있으며 탈수성은 막오염 및 SMP (Soluble microbial product)와 높은 상관관계를 가지고 있다(Wu et al., 2007, Wang et al., 2008). Fig. 4처럼 시간 경과에 따라 점차 탈수성이 감소하는 것을 볼 수 있었는데 특히 혐기 조건의 경우 탈수성이 빠르게 감소하는 경향을 볼 수 있었다.

시간경과에 따라 탈수성이 저하되는 이유는 미생물의 셀 구조가 파괴되면서 Biopolymer가 Biocolloid형태로 방출되게 되는데 마이너스 차지를 띄고 있는 이러한 Biocolloid와 입경이 작아진 플러크는 분산 상태로 탈수저항을 증가시키게 된다고 하였다 (Sudhir N et al., 1999).

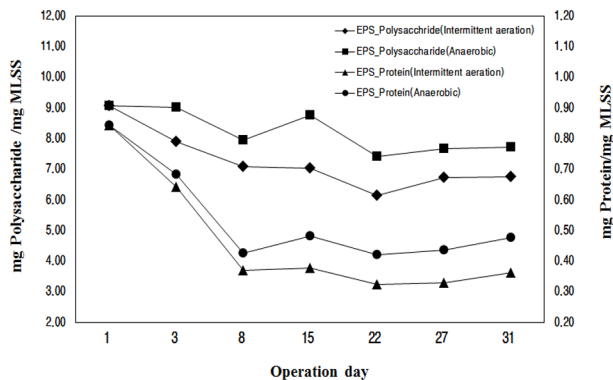


Fig. 3. EPS_{bound} Concentration change.

Table 4. Fouling correlation analysis

	TTF	MLSS	SCOD _{Cr}	EPS _{Protein}	EPS _{Polysaccharide}	Flux/Pressure
TTF	1	0.981422	0.86284	0.896803	0.98528	-0.97048
MLSS	0.981422	1	0.890019	0.908603	0.990004	-0.95358
SCOD _{Cr}	0.86284	0.890019	1	0.636675	0.886663	-0.84571
EPS _{Protein}	0.896803	0.908603	0.636675	1	0.912883	-0.864
EPS _{Polysaccharide}	0.98528	0.990004	0.886663	0.912883	1	-0.95136
Flux/Pressure	-0.97048	-0.95358	-0.84571	-0.864	-0.95136	1

하지만 선행연구 (Sudhir N et al., 1999)에 의하면 호기조건이 혐기조건보다 탈수성이 더 유리하다고 보고 하였다. 그러한 이유는 Biopolymer와 플러크와의 결합은 양이온으로 이루어지는데 Monovalent의 증가나, 저하시키게 된다고 하였다. 혐기조건에서 증가하는 암모니아 이온은 Floc matrix를 이루는 Ca²⁺, Mg²⁺과 같은 Divalent와 치환을 이루기 때문에 이는 곧 탈수성 감소를 야기하게 된다.

다음으로는 처리수의 SCOD, N, P 등 처리 수질을 측정하였다. 먼저 COD의 경우 콜로이드, 단백질 및 탄수화물 등 수종의 산화물질을 포함하고 있어 막오염과 높은 상관성을 가지고 있으며(Wu et al., 2007, Wang et al., 2008), 일반적으로 농축 상등수, 소화 탈리액 경우 다시 주 공정 및 처리시설로 반송되는데 높은 COD와 N, P는 시스템 부하를 야기할 수 있다. 따라서 전체적인 시스템을 고려하였을 때 반류수의 COD, N, P는 낮을수록 운영상에 더 유리하다고 판단되며 결과는 아래 Fig. 5, Fig. 6, Fig 7.과 같다.

상기 결과와 같이 간헐폭기 공정에서 SCOD_{Cr}, N, P 농도가 더 낮았다. 이러한 이유는 일반적으로 알려져 있는 사실과 같이 폭기 시간동안 질산화가 일어남에

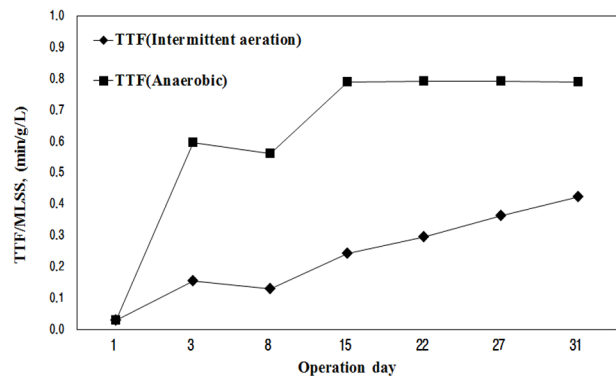


Fig. 4. Dewaterability comparison of operation result for Sludge thickener conditions.

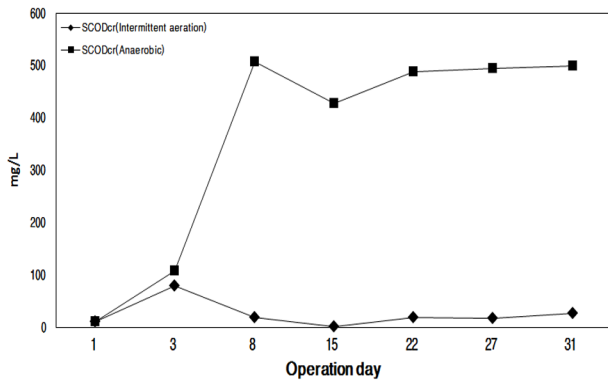


Fig. 5. Permeate concentration comparison of operation result for Sludge thickener conditions(SCOD_{Cr}).

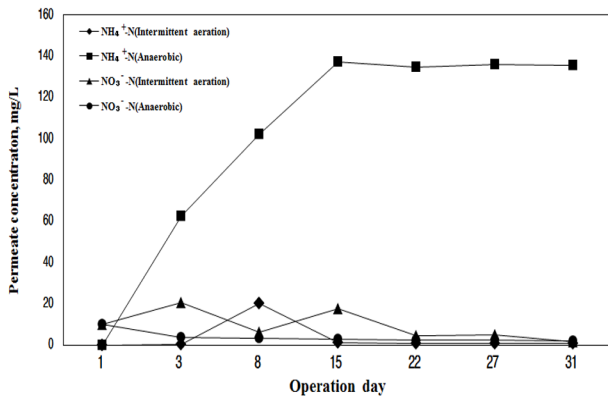


Fig. 6. Permeate concentration comparison of operation result for Sludge thickener conditions(NH₄⁺-N & NO₃⁻-N).

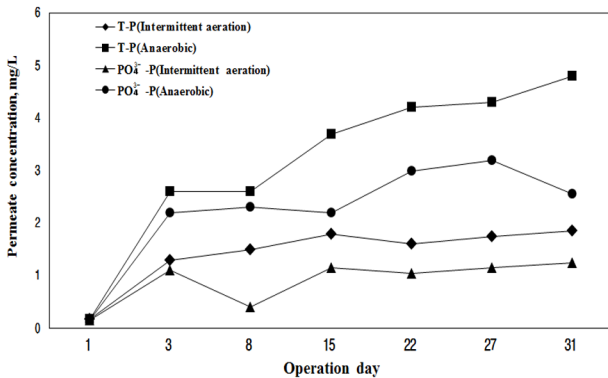


Fig. 7. Permeate concentration comparison of operation result for Sludge thickener conditions(T-P & PO₄³⁻-P).

따라 암모니아성 질소가 제거되고 비폭기 시간동안 탈질반응이 일어남에 따라 질산성질소가 제거되며 폭기/비폭기에 따른 인의 흡수와 방출 기작이 일어나 영양염류가 제거된 것으로 사료된다. 또한 방출된 SCOD 감소는 탈질 및 인 방출의 기질 및 미생물의

Cell 합성 등에 사용되었기 때문으로 사료되며 지금까지 인자를 바탕으로 상관관계 분석을 실시한 결과 아래 Table 4과 같다.

상관관계 분석의 경우 절대 값 1과 가까울수록 상관관계가 매우 높은 것을 의미하며, Flux 감소에 영향 인자인 TTF, MLSS, SCOD, EPS_{bound} 분석을 통해 상관관계를 도출하고자 하였다. 실험결과 Flux 감소에 따른 TTF, MLSS, SCOD_{Cr}, EPS_{Protein} 및 EPS_{Polysaccharide} 상관관계는 각각 -0.97, -0.95, -0.84, -0.86 및 -0.95로 나타났으며, 막오염과 관계가 있다는 것을 재차 확인할 수 있었다. 관형막을 이용한 슬러지 농축 감량 공정을 위한 농축조 운전조건의 경우 연속혐기 조건보다는 간헐폭기 조건이 적절한 것으로 나타났다.

3.3 혐기, 간헐폭기 공정에서 슬러지 감량을 분석

31일 운영결과 슬러지 질량 감량율은 혐기공정이 약 47.16%, 간헐폭기 공정이 약 41.17%로 혐기공정이 더 우수하였다. 이러한 이유는 간헐폭기 공정에서 폭기 시간동안 SCOD일부가 앞서 언급한 미생물의 Cell 합성 등에 사용되었기 때문으로 사료된다. 따라서 관형막을 이용한 농축 감량 공정에서 슬러지 질량 감량은 혐기 공정이 더 유리한 것으로 판단된다.

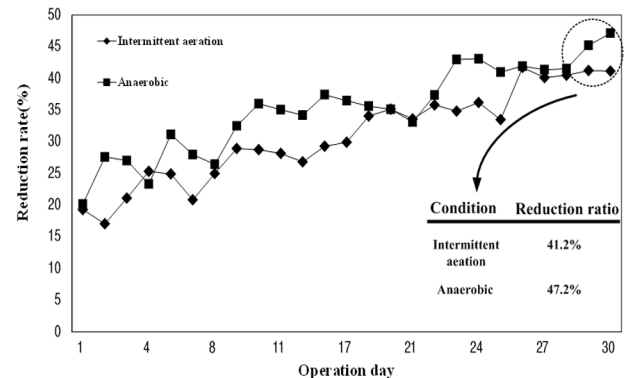


Fig. 8. Sludge reduction comparison operation result for Sludge thickener conditions.

4. 결 론

Lab-Scale의 관형막을 이용한 연속 순환 농축 실험은 혐기조건, 간헐폭기 조건으로 약 31일간 운전하였으며 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 슬러지 감량 및 농축에 대한 운전 결과 MLSS

약 30,000 mg/L로 안정적으로 농축하는 모습을 볼 수 있었으며 슬러지 감량율은 혐기공정 약 47.16%, 간헐 폭기 공정 약 41.17%로 나타나 혐기조건이 더 우수한 경향을 볼 수 있었다. 하지만 간헐폭기 공정의 경우 반류수의 농도부하가 혐기조건에 비해 상대적으로 낮았으며 평균 SCOD_{Cr} 25 mg/L, T-N 16.6 mg/L, T-P 1.4 mg/L로서 방류수질기준 이내로 만족하였다. 따라서 별도의 반류수에 의한 주 공정 처리 부하에도 악 영향을 미치지 않을 것이라 사료된다.

2) 농축조 운영조건에 따른 운전결과 간헐폭기 공정이 혐기공정에 비해 상대적으로 높은 MLSS에서도 약 25% 더 우수한 투과율을 보였다. 상관관계 분석을 통해 MLSS 뿐 아니라 SCOD, TTF, EPS_{bound} 등 막 오염인자는 다양하게 연관되었으며, 막 오염인자와 주 공정에 영향을 미칠 수 있는 반류수 부하를 고려할 경우 농축조 운영조건은 간헐폭기가 연속혐기공정보다 적절하다고 사료된다.

3) 본 연구에서는 혐기소화조의 안정적인 운전조건 유지를 위해 농축조 운전조건과 분리막을 이용하여 연구를 진행하였으며, 분리막을 이용한 슬러지의 안정적인 고농도 농축으로 혐기소화조의 안정적인 운전이 가능할 것으로 판단된다. 또한 농축조의 간헐 폭기 운전조건을 통해 처리수 부하 저감과 슬러지 감량을 확인하였으며, 슬러지 감량 및 고농도 슬러지 농축은 혐기소화조의 설비 축소 뿐 아니라 운전 시 사용되는 열원을 절감하는 효과까지 얻을 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 논문은 2014년도 환경부의 재원으로 글로벌 환경기술 개발사업 - 하폐수 고도처리 기술개발 사업단(과제번호 : GT-13-B-02-001-2)의 지원을 받아 수행된 연구입니다.

References

A. Drews, C.-H. Lee, M. Kraume, (2006) Membrane fouling - a review on the role of EPS, *Desalination* 200 pp. 186-188
 Chen, G. H., An, K. J., Saby, S., Brois, E., Djafer, M., (2003) Possible Cause of Excess Sludge Reduction in an

Oxic-Settling-Anaerobic Activated Sludge Process(OSA process), *Water Research* 37 Vol 16 pp. 3855-3866
 Djamila Al-Halbouni, Jacqueline Traber, Sven Lyko, Thomas Wintgens, Thomas Melin, Daniela Tacke, Andreas Janot, Wolfgang Dott, Juliane Hollender (2008) Correlation of EPS content in activated sludge at different sludge retention times with membrane fouling phenomena, *Water research* 42 pp. 1475-1488
 Eun-Kyung Kang (2001) A study on the Biodegradability of soluble Microbial Products(SMP) and Treatment of Sludge Using Thermophilic Aerobic Digestion, Paper of masters degree, University of Suwon
 Feng Quan, Yu Anfeng, Chu Libing, Chen Hongzhang, Xin-Hui Xing, (2012) Mechanistic study of on-site sludge reduction in a baffled bioreactor consisting of three series of alternating aerobic and anaerobic compartments, *Biochemical Engineering Journal* 67 pp. 45-51
 Gyeonggi research institute (2011) Improvement of digestion tank efficiency and feasibility study on biomass gas use
 Hang-Sik Shin, Hyeong-Seok Jeong, Se-Yong Nam, (2001) Determination of active biomass concentration in sludge by respirometry, *Korean Society of water engineers* Vol. 21 No. 2 pp. 165-170
 Han-Hee, Yang (2009) A study on the operation and performance of anaerobic digesters of STPs in Korea, Paper of masters degree, Korea University
 Hang-Sik Shin, Jong-un Gwak Co-authorship (2002) Nitrogen and Phosphorus Treatment Technology, *Environmental Management Research Center*
 Hee-Seok Kang, Euijong Lee, Hyungsoo Kim, Am jang, (2014) A study on an intermittent aeration membrane bioreactor system using ammonia sensor to decrease energy consumption and sludge concentration by tubular membrane, *Journal of Korean Society of Water and Wastewater* Vol. 28, No 2, pp. 161-170
 Hong-Seok Kim (2012) The study of pre-treatment method for digestion efficiency improvement in sewage sludge, Paper of doctors degree, Seoul National University of Science and Technology
 In-Soung Chang, Chung-Hak Lee (1998) Membrane filtration characteristics in membrane-coupled activated sludge system e the effect of physiological states of activated sludge on membrane fouling, *Desalination*, 120, pp. 221-233
 In-Soung Chang, Chung-Hak Lee (1998) Membrane filtration characteristics in membrane-coupled activated sludge system e the effect of physiological states of activated



- sludge on membrane fouling. *Desalination*, 120, pp. 221-233
- Lukaš Dvořák, Marcel Gomez, Marketa Dvořáková, Iveta Ružičková, Jiří Wanner (2011) The impact of different operating conditions on membrane fouling and EPS production, *Bioresource Technology* 102 pp. 6870-6875
- McCarty, P. L., Brodersen, C. F., (1962) Theory of extended aeration activated sludge, *Water Pollution Control Federation*, 34 pp. 1095-1103
- Pierre Le-Clech, Vicki Chen, Tony A.G. Fane (2006) Fouling in membrane bioreactors used in waste , *Journal of membrane science* 284 pp. 17-53
- Sewer statistics, 2012
- Sang-Ryul Lee (2006) Effect of ultrasound on the anaerobic digestion treatment of sewage sludge, Paper of masters degree, Dankook University
- S. Comte, G. Guibaud, M. Baudu, (2006) Biosorption properties of extracellular polymeric substances (EPS) resulting from activated sludge according to their type: soluble or bound, *Process. Biochem.* 41 pp. 815-823
- Soo-Jung Jung, Kazuhiko Miyanaga, Yasunori Tanji, Hajime Unno, (2006) Effect of intermittent aeration on the decrease of biological sludge amount, *Biochemical Engineering Journal* 27, pp. 246-251
- Soo-Jung Jung, Kazuhiko Miyanaga, Yasunori Tanji, Hajime Unno, (2004) Nitrogenous compounds transformation by the sludge solubilization under alternating aerobic and anaerobic conditions, *Biochemical Engineering Journal* 21, pp. 207-212
- Sudhir N, Murthy and John T. Novak, (1999) Factors Affecting Floc properties during Aerobic Digestion: Implications for Dewatering, *Water environment research*, Vol. 71 No. 2 pp. 197-202
- Sung-kyu Yoon (2013) Garbage Wastewater Treatment by Thermophilic Anaerobic Digestion Coupled with Alternating Injection Mode Cross-Flow Membrane Filtration, Paper of doctors degree, University of Hanyang
- The department of the Environment (2011) Sewage sludge reduction study
- The department of the Environment (2010) Advanced Sewage and Wastewater Treatment and Development of Important Point Technologies
- The department of the Environment (2006) Advanced sewage wastewater treatment and development of important point technology
- Tze Chiang Albert Ng, How Yong Ng (2010) Characterisation of initial fouling in aerobic submerged membrane bioreactors in relation to physico-chemical characteristics under different flux conditions, *Water research* 44 pp. 2336-2348
- Wan-Qian Guo, Shan-Shan Yang, Wen-Sheng Xiang, Xiang-Jing Wang, Nan-Qi Ren, (2013) Minimization of excess sludge production by in-situ activated sludgetreatment processes – A comprehensive review, *Biotechnology Advances* 31 pp. 1386 - 1396
- Wang Z. W., Wu Z. C., Ying X. and Tian L. M., (2008) Membrane fouling in a submerged membrane bioreactor (MBR) under sub-critical flux operation; membrane foulant and gel layer characterization, *J. of Mem. Sci.*, 325(1), pp. 238 - 244
- Wang Z. W., Wu Z. C., Ying X. and Tian L. M., (2008) Membrane fouling in a submerged membrane bioreactor (MBR) under sub-critical flux operation; membrane foulant and gel layer characterization, *J. of Mem. Sci.*, 325(1), pp. 238-244
- Weiwei Chen, Jinrong Liu, Fang Xie (2012) Identification of the moderate SRT for reliable operation in MBR, *Desalination* 286 pp. 263 - 267
- Yong-Dae Lee (2013) A Study on the improvement of anaerobic digestion efficiency of sewage sludge and digestion gas purification, Paper of masters degree, Pusan national University
- Yu Liu, Joo-Hwa Tay, (2001) Strategy for minimization of excess sludge production from the activated sludge process, *Biotechnology Advances* 19, pp. 97-107
- Z.Wu, Z.Wang, Z. Zhou, G. Yu, G. Gu, (2007) Sludge rheological and physiological characteristics in a pilot-scale submerged membrane bioreactor, *Desalination* 212 pp. 152-164

pp. 155-163

pp. 165-169

pp. 171-182

pp. 183-192

pp. 193-202

pp. 203-209

pp. 211-222

pp. 223-231

pp. 233-241

pp. 243-249

pp. 251-259

pp. 261-269

pp. 271-281