

유입부하 변동에 따른 Bio-Sac 생물반응조의 최적 송풍량 결정에 관한 연구

A Study on the Determination of the Optimum Ventilation Rate of Bio-Sac Bioreactor with Variation of Inflow Load

정호종* · 정민재** · 최한영***

Jung, Hojong*, Jung, Minjae**, and Choi, Hanyong***

Abstract

There are many differences between the design water quality and the influent water quality at the sewage treatment plant, depending on the population that is larger than the design population, and the sewage treatment plant which has flowed in excess of the design influent concentration suffers from the problem of proper operation. However, in the Bio-Sac construction method, there are insufficient prior researches on the sewage treatment plant due to excess BOD, SS, and T-N compared to the design. The purpose of this study is to select the optimal amount of ventilation by nitrification and denitrification through controlling the amount of blowing of bioreactor according to fluctuating influent BOD, SS, and T-N exceeding the design for Seongnam Pangyo water quality restoration center. Experiments were conducted at 40, 50 and 60 Nm³ / min ventilation rate of the bioreactor. The nitrogen removal rate was 92.8%, the nitrification rate was 96.9%, and the denitrification rate was 94.3% at 50 Nm³ / min. Considering the nitrogen removal rate and denitrification rate, the optimum treatment efficiency was 50 Nm³ / min.

Key words :BOD, Nitrification, Denitrification

요 지

설계인구보다 증가된 인구에 따라서 하수처리장에서는 설계수질과 유입수질간에는 많은 차이가 있으며, 설계 유입수 농도보다 초과로 유입이 된 하수처리장은 적정운전에 많은 곤란함을 겪고 있다. 그런데 Bio-Sac공법은 설계대비 초과된 유입 BOD, SS, T-N에 의해 하수처리장에 대해서는 국·내외 선행 연구가 많이 부족하고, 미흡한 실정이다. 본 연구의 목적은 성남판교수질복원센터를 대상으로 설계초과되는 유입 BOD, SS, T-N 변동에 따른 생물반응조의 송풍량 조절을 통해 질산화, 탈질화 반응의 의한 최적의 송풍량을 선정하기 위한 연구이다. 생물반응조 호기조 송풍량 40, 50 및 60 Nm³/min으로 변경하여 실험한 결과 50 Nm³/min일 때 질소제거율 92.8% 질산화율 96.9% 탈질화율 94.3%로 나타났다. 질소제거율과, 탈질율을 고려할 때 최적의 송풍량은 50 Nm³/min일 때 처리효율이 효과적이라는 결과를 얻었다.

핵심용어 :BOD, 질산화, 탈질화

1. 서 론

우리나라 하수도는 대부분 합류식관거였지만 신도시 및

도시개발지구에서는 분류식으로 만들었다. 분류식 관거는 우수의 영향을 받지 않고 하수만 유입되는 장점을 가지고 있지만 설계인구보다 증가된 인구에 따라서 하수처리장에

*정회원, 을지대학교 보건환경안전학과 석사(E-mail: rockstom@naver.com)

Member, Master, Department of Environment Health Safety, Eulji University

**을지대학교 보건환경안전학과 석사과정

Master's Candidate, Department of Environment Health Safety, Eulji University

***교신저자, 정회원, 을지대학교 보건환경안전학과 교수(Tel: +82-31-740-7143, Fax: +82-31-740-7355, E-mail: choihan@eulji.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Environment Health Safety, Eulji University

서는 설계수질과 유입수질간에는 많은 차이가 있으며, 설계 유입수 농도보다 초과로 유입이 된 하수처리장은 적정운전에 많은 곤란함을 겪고 있다.

일반적으로 BNR (Biological Nutrient Removal) 공법이라 함은 생물학적으로 질소, 인 혹은 질소와 인을 동시에 제거하는 공법들을 의미한다. BNR 공법은 기존 활성슬러지 공법에 비해 긴 SRT(미생물체류시간)가 요구되는데 제한된 부지사정 등으로 인해 충분한 호기조의 공간확보가 어려울 경우 담체를 이용하여 미생물 농도를 높임으로서 필요한 SRT를 유지할 수 있다. Kang(2002)는 담체 공법은 제한된 체류시간이나 동절기 온도강화와 유량 및 유기물 등에 의한 충격부하가 강하고, 슬러지 생산량이 적은 장점을 가지고 있다고 연구하였다. 담체를 이용한 공법 중 페타이어를 재활용하여 환경을 보전하고, 물보다 비중이 높아 담체의 유실이 없는 Bio-Sac 공법을 쓰고 있다.

그러나 Bio-Sac 공법은 설계대비 초과된 유입 BOD, SS, T-N에 의해 하수처리장에 대해서는 국·내외 선행 연구가 많이 부족하고, 설계초과된 처리장에 대한 연구가 많이 이루어지고 않고 미흡한 실정이다.

질소를 제거하는 방법으로 질산화, 탈질 반응이 있는데 주요 인자로 HRT(수리학적 체류시간)과 DO(용존산소농도)로 알려져 있고, Jeff et al.(2000)은 그 중 DO농도를 가장 중요한 인자로 보고하고 있다. 성장속도가 느린 질산화 미생물의 농도를 높게 하기 위해 DO 조절을 통해 반응조의 SRT(미생물체류시간)를 길게 높일 수 있다.

하수처리장에서 슬러지 발생량을 감소시키기 위해서는 SRT(슬러지체류시간)를 길게 높게 유지하여 미생물의 농도를 높임으로서 미생물 증식량과 미생물 사멸량을 같게 유지함으로써 슬러지 생산을 최소화 하여야 한다고 Metcalf et al.(2004)은 보고하였다. SRT의 증가는 반응조내 미생물 농도의 증가와 직접적으로 연결되어 있다. Pack(2008)은 즉 반응조내 미생물 농도의 증가는 침전조 이후에 배출되는 잉여슬러지의 양을 줄이게 되는 것으로 슬러지 발생량의 저감을 의미한다고 하였다.

본 연구의 목적은 설계초과되는 유입 BOD, SS, T-N 변동에 따른 생물반응조의 송풍량 조절을 통해 질산화, 탈질화 반응의 의한 최적의 송풍량을 선정하기 위한 연구이다. 또한 판교하수처리장을 대상으로 송풍량 개선 전·후의 운전자료 및 슬러지 발생량 자료를 이용하여 슬러지 감량과 수질개선 효과를 분석하고 수질개선방안을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 담체이용 공법

담체이용 공법은 미생물이 담체(media)에 부착성장하여 생물막을 형성하면서 하폐수내의 각종 유기물이나 영양염류를 새로운 미생물세포나 최종생성물로 전환시키는

생물학적 공정이다. 생물막을 이용하는 처리공정은 고농도 미생물의 확보를 통해 고효율의 유기물 및 영양염류 제거가 가능하며 충격부하에 강하므로 유입수의 성상의 변화가 심한 경우에도 안정적인 처리효율을 확보할 수 있다.

Fig. 1은 생물막에서의 물질대사경로를 도식화한 것이다. 하폐수내에 유기물 및 질소인 등은 매체에 부착된 미생물에 의해 섭취되거나 그 형태가 전환된다. 그리고 호기성 생물막 내의 반응은 영양원과 산소가 주요인자로 작용한다. 부착성장미생물의 생장이 계속되면 호기성 생물막의 두께가 증가하게 되고 산소가 생물막의 저부에 침투할 수 없어 혐기성층이 된다. 혐기성층에서는 미생물의 혐기성대사에 의해 유기산, 암모니아성질소 및 황화수소 등이 발생한다. 이와 같은 혐기성분해가 일어나고 증식된 혐기성층 미생물의 일부는 탈리하게 되며, 이곳에 다시 호기성 미생물이 부착되어 새로운 생물막이 형성된다.

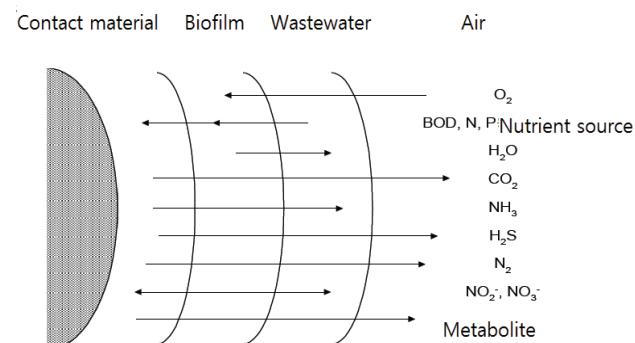


Fig. 1. Metabolic Pathway in Biofilm

2.2 연구대상 처리시설 개요

연구대상 시설은 경기도 성남시 판교에 위치한 판교수질복원센터이다. 시설 용량은 $47,000 \text{ m}^3/\text{day}$ 이고, 처리공정은 Bio-Sac+후탈질공법이다. Fig. 2에 계통도와 Table 1에 설계조건이 나타나있다. 계획하수량은 2021년까지 계획이 되었다.

2.3 연간 설계수질기준과 실제유입수질 비교

최근 3년간('13.01~'15.12) 평균 유입수질은 BOD 270.5 mg/L, COD 126.3 mg/L, SS 200.6 mg/L, T-N 48.805 mg/L, T-P 5.486 mg/L, 대장균군수 151,203 개/mL로 3년평균 설계 대비 부하량은 BOD 항목이 142%, SS 항목은 102%, T-N 항목은 97%, T-P 항목은 91%, COD 항목은 77%, 대장균은 24%로 Table 2와 같다.

Table 3은 초과된 유입수질을 보여지고 있다. 2014년과 2015년 설계대비 부하량은 BOD 항목이 78%에서 110%로 32%증가, SS 항목이 64%에서 73%로 9% 증가, T-N 항목이 62%에서 69%로 7% 증가한 것으로 나타났다.

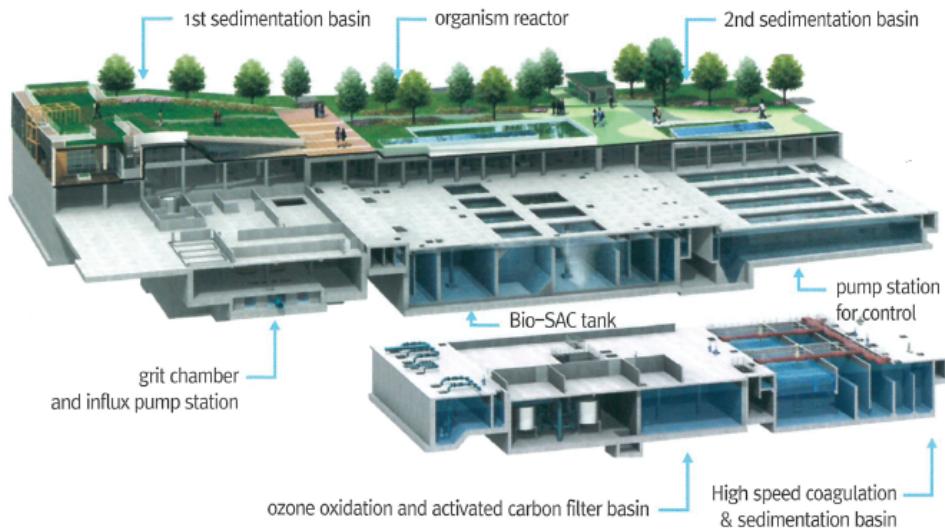


Fig. 2. Pangyo Water Quality Restoration Center System

Table 1. Current Status of Water Quality

Classification	Current status of water quality at pangyo water quality restoration center					
	BOD	COD	SS	T-N	T-P	No.Colon
Influent quality (mg/L)	190	163	197	50	6	-
Legal water quality (mg/L)	10	40	10	20	0.5	1000<
Nomal water quality (mg/L)	5	25	5	15	0.5	30
Water quality of the river maintenance flow (mg/L)	3	12	3	15	0.3	Not

Table 2. Analysis of Current Water Quality Concentration by Year

Properties	Type					
	BOD	COD	SS	T-N	T-P	NO.Colon
Design basis Influent quality (mg/L, ea/mL)	190.0	163.0	197.0	50.0	6.0	620,000
Influent quality 2013 year	212.1	131.2	194.1	48.221	5.714	150,653
Influent quality 2014 year	230.1	130.4	195.5	47.142	5.717	167,442
Influent quality 2015 year	309.4	117.4	212.2	51.051	5.027	135,515
3-year average influent concentration	270.5	126.3	200.6	48.805	5.486	151,203
Concentration of input to design(%)	142	77	102	97	91	24 %

Table 3. 2014, 2015 Design Load Compared to Design

Properties	Type					
	design Load	BOD Influent quality	Inflow	Load	C/N	Load versus design
2014 year	8,930 (kg/day)	230.1 (mg/L)	30,457 (m ³ /day)	7,008 (kg/day)	4.68	78 (%)
2015 year		309.4 (mg/L)	31,807 (m ³ /day)	9,841 (kg/day)	5.13	110% (%)

2.4 세부연구방법

실험은 총 3단계로 진행되었으며 설계공기량은 $40 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 이다. 1단계는 BOD 부하가 설계기준 이내로 유입된 2014년

과 초과로 유입된 2015년의 질산화, 탈질화 반응을 비교한다. 2단계는 공기량 $50 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 로 2016년 1월 1일부터 15일까지, 3단계는 공기량 $60 \text{ Nm}^3/\text{min}$ 은 2016년 1월 15부터 31일까

지 각각 송풍량 조절을 통하여 질산화, 탈질화반응을 통해 최적의 송풍량을 결정한다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유입BOD 부하에 따른 탈질효율

생물반응조의 탈질공정에서 효과적인 탈질이 이루어지기 위해서는 유입수 중 생물학적 질소제거 공정의 지표로 활용되는 유기물(BOD)과 영양염류(T-N, T-P)의 영양 Balance 상태 및 C/N (BOD/T-N) 비가 중요한 인자이다. E. V. Munch et al.(1996)은 탈질반응은 Heterotrophic Bacteria에 의해 발생되므로 전자공여체로서 유기탄소원이 필요하며, 일반적으로 탈질공정(무산소조건)에서 효과적인 탈질이 이루어지지 위해서는 E.V Munch et al.(1996)은 C/N비는 3~5정도 유지하는 것이 바람직한 것으로 알려져 있다. C/N는 유입부하 78%일 때 4.68, 110%일 때 5.13로 2015년도에는 유기물이 과다하게 유입된 것으로 나타났다.

Table 4는 유입BOD부하 78%일 때 탈질율은 88.6%, Table 5는 2015년 유입 BOD부하 110% 일 때 탈질율은 94.7%로 나타나 유입 BOD 증가로 의한 추가적인 외부탄소원이 필요 없어도 탈질율 설계 90 % 이상으로 나왔으며 유입 BOD증가 시 질산화율을 높이기 위해 주요인자인 공기량 조절이 필요할 것으로 판단된다.

3.2 질산화율과 탈질화율에 따른 최적 송풍량 결정

생물반응조 호기조의 송풍량 결정을 위해 공기량을 50, 60 Nm³/min 2가지로 나눠서 질산화율과 탈질화율을 알아보기 위해 실험하였다.

여러 학자들의 연구결과를 보면 Bock et al.(1988)은 DO 1.0 mg/L 이상에서 Nitrosomonas의 질산화 반응이 이루어진다는 연구결과를 발표하였다. 본 연구에서도 공기량이 증가하면 할수록 호기조 용존산소 1.5 mg/L에서 2.1 mg/L로 질산화율은 증가하였다. Metcalf and Eddy(2002)은 DO 농도

가 적어도 0.2 mg/L 이하가 되어야 탈질화 반응이 이루어진다고 하였지만 공기량이 증가할 수록 내부반송에 의해 무산소조의 용존산소도 0.21 mg/L에서 0.4 mg/L로 증가하여 탈질화율은 감소하였다. 무산소에서 DO 농도가 높을 경우 큰 단력을 일으켜 미생물의 floc 형성을 방해하거나 깨뜨리게 되며 공기량증가는 질산화율은 증가되지만 탈질화율은 감소하는 결과를 보여진다. 반응조 내에서 요구하는 산소량은 내생호흡 등으로 구분할 수 있다. 유기물 부하에 비해 용존산소가 너무 많으면 탈질화에 영향을 미칠 수 있는 반면 용존산소가 적은 경우 반응조 내 질산화율을 감소시킨다. 반응조 내에서 요구하는 산소량은 유기물 산화, 질산화, 내생호흡 등으로 구분할 수 있다. 유기물부하에 비해 용존산소가 너무 많으면 탈질화에 영향을 미칠 수 있는 반면 용존산소가 적은 경우 반응조 내 질산화율을 감소시킨다. 따라서 DO농도는 미생물의 반응기작에 중요한 영향인자로 작용한다. 반응조내 DO농도는 미생물의 반응기작에 중요한 영향인자로 작용한다고 알려져 있다(Nielsen, 1996).

공기량을 50, 60 Nm³/min 2가지로 나눠서변경하여 실험한 결과 60 Nm³/min 일 때 용존산소가 2.1 mg/L로 질산화율이 97.0%로 가장 높았지만, 50 Nm³/min일 때 질소제거율 92.8% 질산화율 96.9% 탈질화율 94.3%로 나타났다. 질소제거율과, 탈질율을 고려할 때 최적의 송풍량은 50 Nm³/min일 때 처리효율이 효과적이라는 것을 보여주는 결과이다.

3.3 송풍량 50 Nm³/min일 때 방류 수질 비교

2015년 제거율과 2016년 제거율을 비교 하였을 경우에도 유량이 2015년에 평균 2.289 ton/day 증가 했지만 송풍량 50 Nm³/min으로 5가지 항목을 실험한 결과 BOD 0.21%, COD 0.12%, SS 0.26%, T-N 2.10%, T-P 0.41% 처리효율이 상승한 걸로 Table 8에 나타났다. 그 중에 T-N 효율이 가장 높게 나타난 것으로 송풍량 조절 후 질산화, 탈질화 반응이 잘 이루어져 처리효율이 높게 나타났다.

Table 4. Nitrification Rate and Denitrification Rate at 78% BOD Influent Load in 2014

Air volume	density	T-N	Inorganic nitrogen			Organic nitrogen	Biosomas Consumption	Denitration rate
			NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N			
40 Nm ³ /min	Influent	49.151	0.516	0.07	5.164	43.401	4.915	88.6%
	Effluent	4.966	0.299	0.08	4.274	0.313		

Table 5. Nitrification Rate and Denitrification Rate at 110% BOD Influent Load in 2015

Air volume	density	T-N	Inorganic nitrogen			Organic nitrogen	Biosomas Consumption	Denitration rate
			NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N			
40 Nm ³ /min	Influent	47.104	31.593	0.164	2.739	12.608	4.710	94.7%
	Effluent	5.021	1.33	0.11	1.832	1.749		

Table 6. Nitrification and Denitrification Rate at 60 Nm³/min Blowing Rate

Aerobic Air volume	Density	T-N	Inorganic nitrogen			Organic nitrogen	Biosomas Consumption	Nitrogen removal	Nitrification	Denitration
			NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N					
60 Nm ³ /min DO: 2.1 mg/L	Influent	56.638	43.51	0.27	4.981	7.877	5.6638	90.2	97.0	90.6
	Effluent	5.513	0.18	0.114	4.012	1.207				

Table 7. Nitrification and Denitrification Rate at 50 Nm³/min Blowing Rate

Aerobic Air volume	Density	T-N	Inorganic nitrogen			Organic nitrogen	Biosomas Consumption	Nitrogen removal	Nitrification	Denitration
			NH ₄ -N	NO ₂ -N	NO ₃ -N					
50 Nm ³ /min DO: 1.5 mg/L	Influent	56.258	43.2	0.291	5.117	7.650	5.6258	92.8	96.9	94.3
	Effluent	4.014	0.17	0.215	2.258	1.371				

Table 8. Water Quality Change After Discharge

Properties	Type				
	Influent concentration 2015	Effluent concentration 2016	Influent concentration 2015	Effluent concentration 2016	Treatment efficiency
Flux (m ³ /day)	31,807		34,096		
BOD (mg/L)	309	2.8	118.4	2.1	0.21
COD (mg/L)	117.4	6.6	289.7	6.5	0.12
SS (mg/L)	252.2	1.8	56.655	1.3	0.26
T-N (mg/L)	47.142	4.332	6.097	4.014	2.10
T-P (mg/L)	5.027	0.065	102	0.054	0.41

4. 결 론

설계초과되는 유입 BOD, SS, T-N 변동에 따른 생물반응조의 송풍량 조절을 통해 질산화, 탈질화 반응의 의한 최적의 송풍량을 선정하기 위한 연구이다. 또한 판교하수처리장을 대상으로 송풍량 개선 전후의 운전자료를 이용하여 수질개선 효과를 분석하고 수질개선방안을 검토하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

유입BOD부하 31% 증가시 질산화율은 6.2% 감소하였고, 탈질율은 2.5% 증가하였다. 이는 유입 BOD 증가량을 통한 질산화 주요인자인 공기량 조절이 필요할 것으로 판단된다.

생물반응조 송풍량 50, 60 Nm³/min으로 변경하여 실험한 결과 50 Nm³/min일 때 질소제거율 92.8%, 질산화율 96.9%, 탈질화율 94.3%로 처리효율이 가장 높은 결과 얻었다.

송풍량 50 Nm³/min으로 방류수질 5항목을 실험한 결과 T-N 2.10%로 작년대비 처리효율이 가장 상승한 걸로 나타났다. 그 중 T-N 효율이 가장 높게 나타난 것은 송풍량 조절 후 질산화, 탈질화 반응이 잘 이루어져 처리효율이 높게 나타났다.

References

- Bock, E., Wilderer, P.A., and Freitag, A. (1988) Growth of Nitrobacter in the absence of dissolved oxygen. *Water Res.*, Vol. 2, No. 2, pp. 243-250.

Kang, Y.M. (2002) *On the treatment of sewage and manure using waste tire carrier*. Ph.D. Dissertation, Gangwon University, Chuncheon, Korea.

Metcalfe-eddy Inc. (2004) *Wastewater engineering: treatment and reuse*. McFrow-Hill. New York.

Munch, E.V., Lant, L., and Keller, J. (1996) Simultaneous nitrification and denitrification in bench-scale sequencing batch reactors. *Water Res.*, Vol. 30, No. 2, pp. 277-285.

Nielsen, P.H. (1996) Adsorption of ammonium to activated sludge. *Water Res.*, Vol. 30, No. 3, pp. 762-764.

Pack, J.H. (2008) *Process Evaluation through comparative performance Analysis of advanced biological treatment technologies for municipal wastewater*. Master's Thesis, Konkuk University, Seoul, Korea.

Roberts, J.A., Sutton, P.M., and Mishra P.N. (2000) Application of the membrane biological reactor system for combined sanitary and industrial wastewater treatment. *Int. Biodeterior. Biodegradation*, pp. 37-42.

Received	January 5, 2017
Revised	January 9, 2017
Accepted	January 26, 2017

