

PVA-gel 미생물 고정화 담체를 이용한 고도하수처리 및 슬러지 감량화 운전조건 연구

A Study on the Operation Condition for Carbon-Nitrogen Removal in Wastewater and Sludge Reduction using PVA-gel Immobilized Microorganism

이진숙¹ · 박형완¹ · 남덕현¹ · 박철휘^{1,*} · 정인호¹ · 유영관²

Lee, Jin-Sook¹ · Park, Hyung-Whan¹ · Nam, Duk-Hyun¹ · Park, Chul-Hwi^{1,*} ·
Jung, In-Ho¹ · Yoo, Young-Kwan²

1 서울시립대학교 환경공학부
2 Enviro(주)

(2006년 8월 23일 논문 접수; 2006년 12월 14일 최종 수정논문 채택)

Abstract

The carbon and nitrogen removal process using PVA-gel (Polyvinyl Alcohol) immobilized microorganisms was studied. The process has been operated under diverse process conditions for 12 months. The process consists of denitrification with internal recycle of 300%, nitrification, aerobic digestion reactors and settling tank. Nitrification and nitrogen removal efficiency according to gel packing ratio and temperature were studied. Yield for Heterotrophs (Y_H), decay coefficient for Heterotrophs (b_H) in aerobic digestion reactor were determined to seize sludge reduction mechanism and compared with typical data of activated sludge process. Then SRT in aerobic digestion reactor was determined on an experimental basis and sludge reduction efficiency was calculated. The process was implemented successfully with sludge reduction efficiency of 92.0~98.5% on a basis of biomass.

Key words: PVA-gel, immobilization, nitrification, denitrification, sludge reduction, aerobic digestion

주제어: PVA-겔, 고정화, 질산화, 탈질화, 슬러지 감량화, 호기성소화

1. 서론

부유성 미생물을 이용하는 활성슬러지법의 설계, 관리 시 중요한 문제중의 하나는 슬러지 침전성의 확

보이다. 슬러지의 침전성을 확보하기 위해서는 포기조의 체류시간에 상응하는 적정의 미생물부하(F/M비)가 유지되어야 한다. 활성슬러지법을 이용할 경우 일반적으로 양호한 처리수를 위한 낮은 F/M비 유지를 위해서는 미생물 농도를 높게 유지시키는 것이 요

*Corresponding author Tel: +82-2-2210-2176, FAX: +82-2-2244-2245, E-mail: chpark@uos.ac.kr (Park, C.H.)

구된다. 하지만 2차 침전지의 효율을 고려할 때 미생물 농도 증가에는 한계가 존재한다. 이러한 활성슬러지법의 단점에 반하여 생물막 공법은 매디아 표면에 형성된 미생물막을 이용하기 때문에 슬러지의 침전성이 문제되지 않는다. 또한 비교적 고농도의 미생물을 유지할 수 있으므로 슬러지 발생량이 적고 운전이 비교적 쉽다는 장점을 가진다. 그러나 유입폐수의 농도가 높은 경우, 담체가 쉽게 탈리되고 보다 많은 미생물을 고정화시키기 위해서는 비표면적을 크게 하여야 하지만 비표면적이 클수록 담체의 공극률이 작아져서 미생물의 성장에 따라 공극이 빨리 폐쇄되는 단점이 있다.

이와 같은 고정 생물막 공정의 문제점을 개선하는 방법으로 고정화 미생물을 이용한 방법이 대두되고 있다. 미생물의 고정화는 미생물을 담체에 결합시키거나 한정된 공간 내에 포획하는 것으로 생물공학 분야에 오래 전부터 이용되어 왔다. 미생물 고정화법은 처리수와 미생물의 분리가 용이하여 별도의 분리시설이 불필요하므로 시스템의 규모를 대폭 줄일 수가 있으며 반응기 내부의 미생물을 고농도로 유지할 수 있기 때문에 유입되는 폐수를 짧은 시간 안에 처리할 수 있다. 또한 온도, pH와 같은 환경조건이 급격하게 변화하거나 독성물질이 유입되어도 고정화 미생물 자체의 완충작용에 의해서 활성이 크게 변하지 않는 장점을 가지고 있다.

우리나라 대부분의 하수처리장에서는 생물학적 처리공법이 적용되고 있는데 여기서 발생하는 잉여슬러지는 일반적으로 농축, 개량, 탈수 등의 공정을 거친 후 매립 또는 소각 등을 통하여 최종 처분되고 있다. 전체 유입하수량의 약 1% 정도 발생하는 생슬러지와 잉여슬러지의 처리비용은 전체 하수 처리 비용의 40~60% 정도 소요되며, 함수율이 높기 때문에 수송 운반이 어려울 뿐 아니라 유기성 물질의 분해로 인한 악취발생, 침출수의 발생, 해충의 발생 등의 2차 환경오염을 유발시키는 문제점을 안고 있다.

지금까지의 슬러지 처리 연구들은 슬러지의 생분해성을 향상시킴으로써 부피 감소 및 혐기성 소화효율을 증진시키고자 진행되고 있다. 그러나 이러한 방법들은 이미 발생된 슬러지를 처리하거나 이용하는 기술이므로 잉여슬러지 자체를 줄이는 데는 한계가 있다.

본 연구에서는 자산화조의 호기성 소화를 이용한 슬러지 감량화를 통해 수처리 과정에서 발생된 잉여슬러지를 수처리 시스템에서 별도로 분리하여 처리하는 개념이 아닌 수처리 공정 내에서 하수의 고도처리와 슬러지 감량화가 동시에 이루어지는 공정이다. 처리설비의 신설 없이 기존의 시스템을 충분히 이용할 수 있어 높은 경제성을 지니고 있으며 부지 문제를 해결하고 유기물 및 질소 처리 면에서 모두 뛰어난 효율을 나타낸다.

2. 실험장치 및 방법

2.1. 실험장치

본 연구에 사용된 실험 장치는 J하수처리장에 설치되었으며 탈질조, 질산조, 자산화조로 구성된 생물반응조이다. 탈질조와 질산조에 미생물 고정화 담체인 PVA-gel(polyvinyl alcohol-gel)을 충전(15%)하였고 후단에 자산화조를 일체형으로 결합시킨 공정(Advanced wastewater treatment & Sludge reduction by Enviro - Cell immobilization)이다. 탈질조와 질산조는 담체의 원활한 유동을 위해 교반기가 설치되었고 질산조와 자산화조는 질산화 반응과 내생호흡을 통한 슬러지 감량화를 위해 폭기장치가 설치되었다. 탈질조와 질산조 유출부분에 겔 size보다 작은 직경의 스크린을 구성하여 다음 반응조로 겔이 유실되는 것을 방지하였다.

초기에 유입유량과 반응율의 변화에 따른 처리효율을 분석하였으며 실험조건은 Table 1에 나타내었다. 이때 자산화조 MLSS 농도는 6,000~7,000mg/L,

Table 1. Operation conditions of ASEC process

Date	Flow rate (L/day)	Internal return (%)	External return (%)	Denitrification reactor		Nitrification reactor		A utoxidation reactor	
				HRT(hr)	Vol.(L)	HRT(hr)	Vol.(L)	HRT(hr)	Vol.(L)
05.06.01~05.06.30	100	100~200	100	-	10	-	25	-	15
05.07.01~	137	300	70	1.8	4.4	2.6			

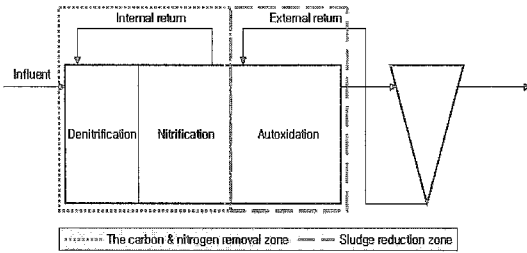


Fig. 1. Schematic diagram of ASEC process.

MLVSS 농도는 4500~6000mg/L 범위를 유지하였다.

2.2. PVA-gel의 특성

PVA-gel 고정화법은 지금까지 개발되어져 있는 미생물의 포괄고정화 재료인 아크릴아미드, k-카라킨산, 알긴산 칼슘, 한천 등을 이용한 활성 슬러지의 포괄고정법에 비해 고정화시 비드강도가 강하며 장기간의 사용에 대한 내구성이 큰 장점을 가질 뿐 아니라 미생물에 대한 독성이 없고 gel의 외부와 내부의 산소 전달률이 상이하여 미생물 종이 다양하게 출현하므로 기질에 특이성을 나타내는 미생물의 성장을 유도할 수 있다. 본 실험에서 사용된 PVA-gel은 일본 쿠라레이 사이조우(주)로부터 제공된 gel로서 담체의 물리화학적 특성은 Table 2와 같다.

2.3. 실험방법

2.3.1. 분석방법

실험은 주 2회 실시하였으며 사용된 분석방법은

Table 2. Physical & chemical characteristics of PVA-gel

Items	Characteristics
Name	Polyvinyl alcohol gel
Components	Polyvinyl alcohol 5~20%, Alginate acid 0~3%, Water 80~95%
CAS No.	9002-89-5, 9005-38-3
Chem. formula	(C ₆ H ₇ O ₆ M) _x
Shape	White & spherical shape, diameter(4.1 mm)
Water contents	84%
Specific gravity	1.025
Melting point	200°C
Density	0.7245g/cm ³
Sedimentation velocity	3.95cm/sec
pH impact	pH 3 : OK, pH 11 : OK
Volume	0.03cm ³ /unit

Table 3. Analytical methods

Parameter	Analytical method
Temp.	Thermometer
pH	pH meter(YSI 63)
DO	DO meter(YSI 55)
BOD ₅	DO meter(YSI 5100), BOD probe(YSI 5010)
CODcr	Closed Reflex Method(SM 5220E)
TSS	105°C, 2hr in dry oven(GF/C filter)
VSS	550°C, 30min in dry oven(GF/C filter)
TKN	Total Kjeldahl Method
NH ₄ ⁺ -N	HACH 2010
NO ₂ ⁻ -N	Ion-Chromatography(HIC-20A Super)
NO ₃ ⁻ -N	Ion-Chromatography(HIC-20A Super)
Alkalinity	Titrimetric Method(Methyl Orange)

Table 3에 나타내었다.

2.3.2. 담체 내부 미생물 고정화 확인

운전기간이 60일 경과 후 탈질조와 질산조의 담체를 적당량 취해 내부에 미생물의 존재 여부를 확인하였다. 담체의 자른 단면을 LB배지(Brilliant Green Lactose Bile Broth)와 LA배지(LB배지 + 암피실린)에 스프리딩 하고 35±0.5°C의 incubator에 넣어 24시간 동안 배양한 후에 배지를 꺼내어 미생물의 성장여부를 확인하였다. LB배지는 tryptone 10g, NaCl 10g, yeast extract 5g으로 조성된 배지를 사용하였다. 탈질조와 질산조의 담체를 같은 방법으로 실험하였다.

2.3.3. 담체의 충전율에 따른 질산화 효율 평가

회분식 반응기 4개에 인공하수를 넣고 각각 충전율 5%(V/V), 10%, 15%, 20%로 PVA-gel을 넣은 후 폭기 시키면서(DO 4 이상) 6시간 동안 한 시간 간격으로 NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺를 측정하여 질산화 효율과 NO₂⁻의 반응기 축적성을 분석하였다. 실험은 질산조에서 꺼낸 PVA-gel(미생물이 외부에 부착되고 내부에 고정화된 상태)을 사용하였으며 인공하수 조성은 Table 4에 나타내었다. 실험하는 동안 적정량의 NaOH를 주입하여 pH가 7.1~7.7를 유지하도록 하였다. 이 실험을 통해 HRT와 충전율에 따른 질산화율을 측정할 수 있었다.

2.3.4. 온도에 따른 질산화 효율 평가

회분식 반응기 4개에 인공하수를 넣고 각 반응조에

Table 4. Characteristics of the synthetic wastewater for influent

Component	Conc.(g/L)	Remarks	Component Con.(g/L)
Glucose(C ₆ H ₁₂ O ₆)	0.1	Organics	COD ≃ 0.100
KH ₂ PO ₄	0.008	Phosphorus	T-N ≃ 0.035
K ₂ HPO ₄	0.018		T-P ≃ 0.005
NH ₄ Cl	0.16	Nitrogen	
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.09	Minerals	
CaCl ₂ · 2H ₂ O	0.07		
EDTA	0.02		
Trace	1ml/L		

Table 5. Characteristics of trace solution

Component	Concentration(g/L)
FeCl ₃ · 6H ₂ O	1.5
H ₃ BO ₃	0.15
CuSO ₄ · 5H ₂ O	0.03
KI	0.03
MnCl ₂ · 4H ₂ O	0.12
Na ₂ MoO ₄ · 2H ₂ O	0.06
ZnSO ₄ · 7H ₂ O	0.12
CoCl ₂ · 6H ₂ O	0.15

PVA-gel을 15%로 충전한 후 온도를 각각 7°C, 10°C, 15°C, 20°C로 유지시켰다. 호기상태에서(DO 4 이상) 6시간 동안 한 시간 간격으로 NO₃⁻, NO₂⁻, NH₄⁺를 측정하여 질산화 효율과 NO₂⁻의 반응기 축적성을 분석하였다. 실험은 질산조에서 꺼낸 PVA-gel(미생물이 외부에 부착되고 내부에 고정화된 상태)을 사용하였고 NaOH를 주입하여 pH가 7.1~7.7를 유지하도록 하였다.

2.3.5. 자산화조 동력학 계수 평가

2.3.5.1. Yield for Heterotrophs(Y_H) 산정

용존 물질로만 구성된 하수에서 성장하는 미생물의 Y_H를 직접적으로 구하기 위해 자산화조 유입수를 GF/C 여지로 여과한 후 회분식 반응조에 넣고, 정상 상태의 자산화조에서 일정량의 미생물을 식중하였다.

F/M비에 따라 mode 1, mode 2로 구분하였으며 실험 조건은 Table 6에 나타내었고 질산화에 의한 산소의 소모를 방지하기 위하여 질산화 억제제인 allythiourea(ATU)를 30mg/L로 주입하였다.

2.3.5.2. Decay coefficient for Heterotrophs(b_H) 산정

GF/C로 여과한 유입수를 회분식 반응조에 넣고 포기시키며 OUR을 측정하였다. F/M비의 변화에 따른 기본운전조건은 Table 6과 같고 질산화 미생물의 성장을 억제하여 질산화에 의한 산소의 소모를 방지하기 위하여 질산화 억제제인 allythiourea(ATU)를 30mg/L로 주입하였다.

2.3.6. 자산화조 슬러지 감량화 효율 평가

슬러지 감량의 주요한 목적은 처분을 위한 고형물의 질량 감소이다. 이 감소는 유기물이 아닌 것들의 분해도 있지만 슬러지의 생분해 가능 부분에서만 이루어진다고 가정하였다. 완전 혼합 소화조에서 생분해 가능한 휘발성 고형물의 변화는 반응조의 부피가 일정할 경우에 1차 생화학적 반응으로 아래식과 같이 표현 할 수 있다.

$$\frac{dM}{dt} = -k_d M$$

여기서,

dM/dt = 생분해 가능 휘발성 고형물(M)의 단 위치간당 변화율(질량/시간), MT⁻¹

k_d = 반응 상수, T⁻¹

M = 자산화조 내에 시간 t에 남아있는 생분해 가능 휘발성 고형물의 질량, M

여기서 자산화조 반응조의 부피는 일정하므로 질량 변화값 대신 농도 변화값을 대입하였다. 일반적으로 침전조 페슬러지의 약 20~30%가 생분해 가능하지 않기 때문에 생분해 가능 부분은 자산화조 VSS의 70~80%로 가정한다.

위 식을 시간 개념으로 적분하면 아래와 같다.

Table 6. Operation condition of batch reactor according to F/M ratio

Operation Condition		SCOD(mg/L)	Volume(V)	MLVSS(mg/L)	Biomass(X)	Wastewater(ml)
F/M ratio	0.03 mode 1	40	3,000	4,500	680	2,320
	0.05 mode 2			5,500	380	2,620

$$\ln \frac{M_1}{M_2} = -k_d(t_2 - t_1)$$

위 식의 시간 항은 자산화조 내의 슬러지 체류시간 (SRT)이다. 즉 SRT를 알면 슬러지가 체류시간 동안 자산화조에 체류하는 동안, 초기 질량(M_1)에서 감량화된 질량(M_2)으로의 질량 변화율을 알 수 있다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 담체 내부 미생물 고정화 확인

질산조와 탈질조의 PVA-gel 모두에 대해 LB배지가 있는 페트리디쉬에서는 미생물이 성장하였으며 항생제가 들어있는 LA배지에서는 미생물이 관찰되지 않았다. 이를 통해 미생물이 겔 내부 공간 내에서 성장하고 있음을 확인할 수 있었다.

3.2. 담체의 충진율에 따른 질산화 효율 평가

담체의 충진율에 따른 질산화 효율을 평가한 결과 5~20%에서 충진율이 증가할수록 질산화 효율을 증가하는 경향을 보이며 충진율 15% 3~4hr에서 72.9~86.3%의 효율을 나타내었다.

3.3. 온도에 따른 질산화 효율 평가

질산화 효율은 온도에 의한 영향을 크게 받으므로 동결기 수온에 대한 고정화 미생물의 적응력을 회분식 실험을 통해 알아보았다. 실험은 충진율 15%에서 진행되었다. 질산화에 영향을 주는 인자로는 수온, DO, pH, SRT 등이 있는데 특히 동결기에 수온 하강

으로 질산화 미생물의 활성이 저하되므로 질소처리의 문제를 가지게 된다. 따라서 동결기 온도 저하에 따른 질산화 효율을 평가했다. 본 연구에 사용된 고정화 담체인 PVA-gel은 미생물을 내부에 고정화시킴으로써 온도와 같은 외부조건의 변화에 강한 적응력이 있다고 밝혀진바 있어 이를 동결기 조건의 국내 하수에 적용하기 위한 실험을 하였다.

실제로 반응조로 유입되는 원수의 동결기 수온은 8°C 이하로 내려가지 않았다.

온도에 따른 질산화 효율을 평가한 결과 7°C, 10°C 일 때는 HRT가 증가함에 따라 질산화는 증가하지 않았으며 온도가 15°C 이상에서는 HRT가 증가함에 따라 질산화 효율이 크게 증가하는 것을 알 수 있었다.

3.4. 자산화조 동역학 계수 평가

3.4.1. Yield for Heterotrophs(Y_H) 산정

본 공정은 탈질/질산조에서 유기물의 대부분이 제거되므로(자산화조로 유입되는 평균 SBOD 값은 2mg/L 이하) 자산화조의 F/M ratio는 0에 근접한다. 이러한 F/M ratio(0.03~0.05)를 회분식 반응기에 시뮬레이션 해서 적당한 미생물량과 하수량을 식종한다. 여기서 구한 Y_H 값은 사멸되어서 제거되는 미생물량까지 포함된 미생물 생성계수 값(Net Yield for heterotrophs)이 되고 주입된 여과하수에서 미생물의 성장에 이용되는 기질은 readily biodegradable substrate 만을 고려한다. 샘플은 미생물의 성장과정을 알기 위한 TCOD와 SCOD를 측정하기 위해 일정간격으로 채취한다. 미생물 COD는 TCOD와 SCOD의 차이로 계산될 수 있으며, 생산계수는 SCOD 차이에 대한

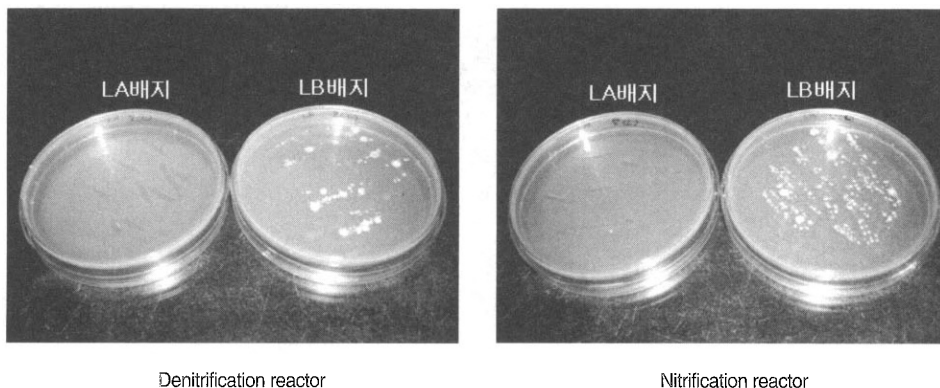
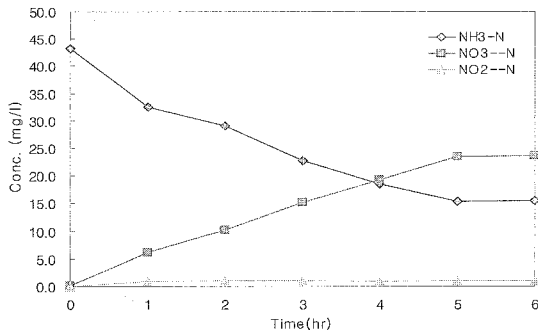
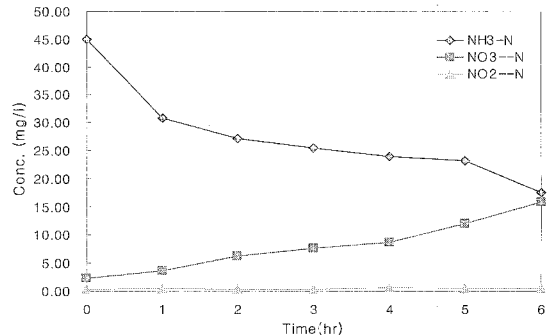


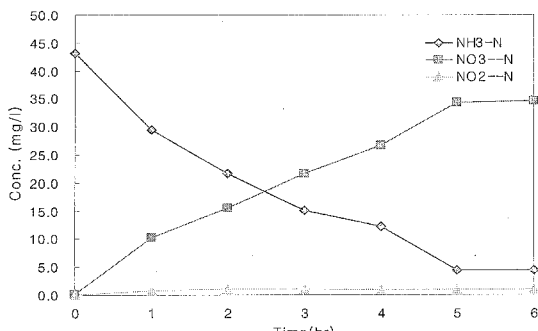
Fig. 2. Identification of Immobilized Microorganism.



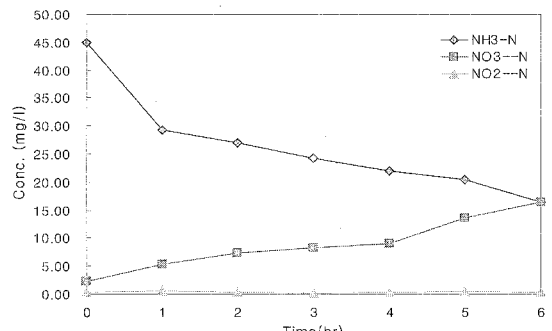
Packing ratio of 5%



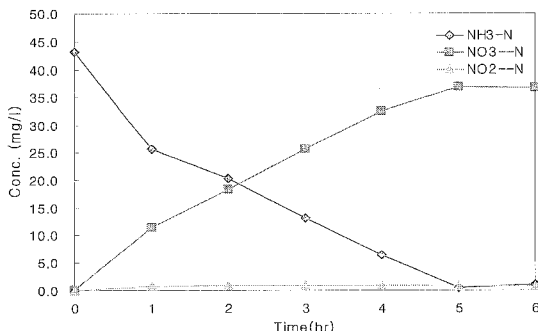
Nitrification efficiency at 7°C



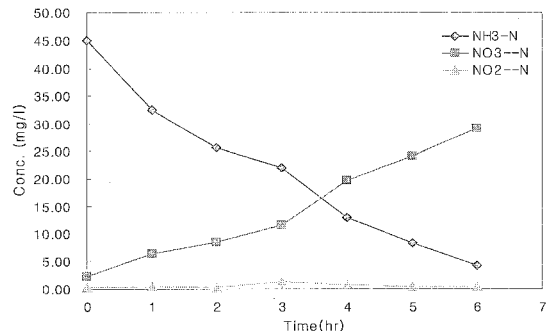
Packing ratio of 10%



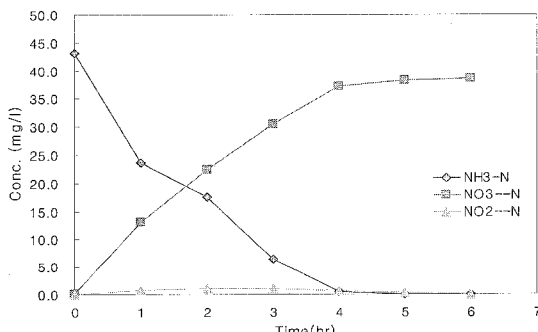
Nitrification efficiency at 10°C



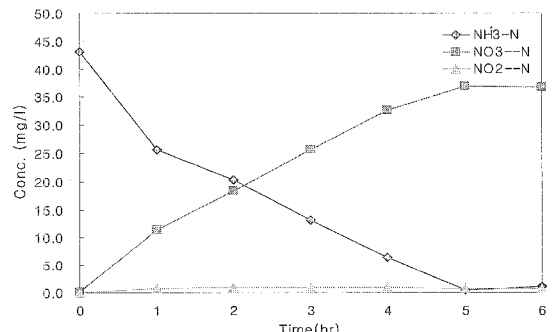
Packing ratio of 15%



Nitrification efficiency at 15°C



Packing ratio of 20%



Nitrification efficiency at 20°C

Fig. 3. Nitrification efficiency according to packing ratio.

Fig. 4. Nitrification efficiency according to temperature.

미생물 COD의 비로 정의될 수 있다.

$$Y_H = \frac{\Delta Biomass\ COD}{\Delta Soluble\ COD}$$

위의 식을 이용하여 F/M ratio에 따른 mode 1, mode 2의 실험에 의한 Y_H 값은 각각 0.01, 0.06로 나타났으며 이를 Table 8과 Table 9에 나타내었다.

3.4.2. Decay coefficient for heterotrophs(b_H) 산정

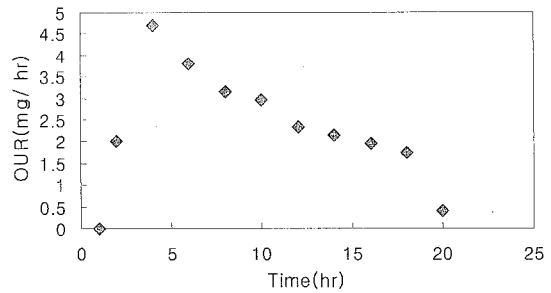
하수내의 heterotrophic biomass의 호흡률은 기질에 의한 성장으로 인해 지수 성장 곡선을 그리며 증가하고 이후에 기질의 소모와 더불어 급격히 감소하는 모습을 보인다. 감소하는 부분에 자연로그를 취하여 선형화한 그래프의 기울기가 아래 식에서의 b_H' 이다. 또한 f_p' 은 0.08로 가정하였다.

$$b_H = \frac{b_H'}{1 - Y_H(1 - f_p')}$$

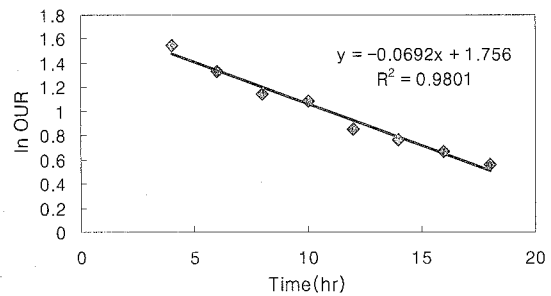
위의 식을 이용하여 구한 b_H 의 값은 약 0.06이었다.

3.5. 자산화조 SRT 산정

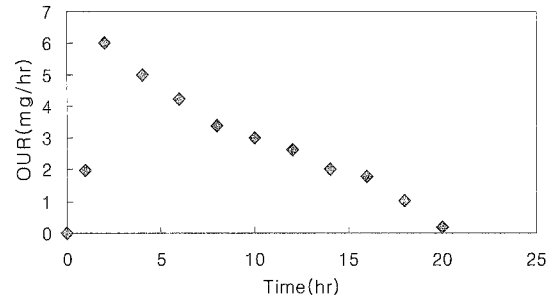
2005년 8월 30일(운전시작 시점)부터 2005년 9월 30일까지 잉여슬러지 인발은 없었으며 침전조 내의 슬러지 계면은 점차 증가하였다. 침전조 내의 슬러지를 주기적으로 인발하지 않음으로써 활성을 잃은 슬러지의 부상이 발생하였다. 슬러지 인발량을 실험통하여 그 양을 결정하기로 하였다. 외부반응을 0.7Q로 고정하고 자산화조 SS농도가 일정하게 유지되면서 내생상태에서의 슬러지 감량화가 진행될 때의 침전조 내 슬러지가 쌓이는 속도를 관찰하였다. 침전조 내 안정적인 슬러지 높이를 관찰하기 위해 슬러지가 부상될 때 PAC을 간헐 주입함으로써 고액분리를 확실히 하였다. 관찰결과를 바탕으로 침전조 슬러지 높이를 일정하게 유지하기 위해 10월 1일에 그동안 쌓였던 침전조 내 슬러지를 모두 인발하고 새로 축적되는 슬러지의 주기적인 인발을 시작하였다. 점차적으로 반응조가 안정화 되어가면서 3~4일 간격으로 IL의 슬러지를 인발하였다. 슬러지가 인발되면서 침전조 내 슬러지 rising현상이 상당히 안정되었으며 PAC의 연속주입을 중단한 후에도 양호한 침전성을 보였



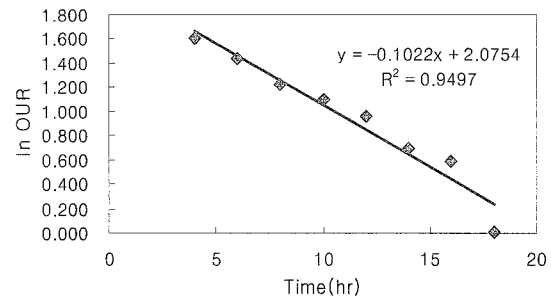
OUR profile of mode 1



ln OUR profile of mode 1



OUR profile of mode 2



ln OUR profile of mode 2

Fig. 5. Profile of decay coefficient for Heterotrophs (b_H).

다. 아래식을 이용해서 자산화조에서 인발된 슬러지 양으로부터 SRT를 산정하면 약 42일로 계산된다. 즉

Table 8. Analysis result of mode 2(F/M ratio = 0.05)

Time(hr)	TCOD	SCOD	BCOD	SCOD변화량	BCOD변화량	Y _H
0	1483.85	75.69	1408.16	-	-	-
0.5	1225.53	73.89	1151.64	1.80	256.52	0.0070
1	1165.46	69.09	1096.37	4.80	55.27	0.0868
1.5	1103.40	64.28	1039.12	4.81	57.25	0.0840
2	1051.37	61.27	990.10	3.01	49.02	0.0614
2.5	1003.37	57.27	946.10	4.00	44.00	0.0909
3	1000.25	57.20	943.05	0.07	3.05	0.0230
Average	-	-	-	-	-	0.0589

Table 7. Analysis result of mode 1(F/M ratio = 0.03)

Time(hr)	TCOD	SCOD	BCOD	SCOD변화량	BCOD변화량	Y _H
0	29273.24	192.34	29080.90	-	-	-
0.5	28583.00	189.97	28393.03	2.37	687.87	0.0034
1	23459.15	182.54	23276.62	7.43	5116.41	0.0015
1.5	22759.25	181.60	22577.65	0.94	698.97	0.0013
2	22580.23	180.90	22399.33	0.70	178.32	0.0039
2.5	21903.55	175.77	21727.78	5.13	671.55	0.0076
3	21804.22	172.01	21632.21	3.76	95.57	0.0393
3.5	20505.22	155.49	20349.73	16.52	1282.48	0.0129
4	20345.58	153.44	20192.14	2.06	157.58	0.0130
Average	-	-	-	-	-	0.0104

실질적으로 보여지는 긴 SRT로부터 슬러지 감량화 가능성을 확인할 수 있었다.

$$SRY = \frac{VX}{X_r Q_r}$$

$$\ln \frac{M_1}{M_2} = -k_d(t_2 - t_1)$$

위의 식으로부터 슬러지 감량화 효율은 최소 92.0%에서 최대 98.5%(질량기준)가 산출되었다.

4. 결 론

1) 겔 외부의 부착미생물과 겔 내부에 미생물의 존재를 확인함으로써 고정화 담체인 PVA-gel이 미생물 성장에 요구되는 기질과 산소가 내부로 공급되기에 충분한 크기의 공극을 가지고 있다고 판단된다. 하지만 상당량의 미생물이 공극 내로 고정화 되기까지는 어느 정도 긴 시간이 필요할 것으로 사료되며 운전 초기에는 부유미생물에 의한 하수처리가 이루어지고 이후에 고정화미생물에 의해 하수처리능이 점차 향상

되는 것으로 판단된다. 고정화법도 생물막 공법의 일종이므로 운전기간 내에 탈질조와 질산조로의 슬러지 반응은 없었다.

2) 겔 충전율이 15%(V/V)일 때 HRT가 3~4hr에서 질산화 효율 72.9~86.3%를 기대할 수 있었다. 또한 온도가 7°C, 10°C일 때 HRT가 증가함에 따라 질산화 효율은 증가됨이 보이거나 크게 증가하지는 않았으며 온도가 15°C가 되면 HRT가 3시간에서 4시간으로 증가할 때 NH₄⁺-N 제거효율이 51.1%에서 71.1%로 크게 증가함을 알 수 있다.

3) 슬러지 인발을 하지 않았을 때에는 침전조 내 rising 현상이 악화되어 처리수 수질이 저하되었으나 연속적으로 소량의 PAC을 주입한 경우 rising 현상은 개선되었다. 이후에 주기적으로 슬러지 인발을 하면서 침전조 내 슬러지 침강성이 많이 개선되어 PAC을 주입하지 않아도 양호한 처리수 수질을 얻을 수 있었다. 또한 슬러지 인발을 통해 인을 제거함으로써 반응조 내 인의 축적이 방지되었고 유입수의 낮은 인 농도로 인하여 처리수 TP농도가 방류수 수질기준 이하로 유지할 수 있었다.

4) 위에서 산정된 동역학 계수(Y_H , b_H)를 활성슬러지와 비교해본 결과 Y_H 는 활성슬러지보다 훨씬 낮은 값($\approx 0.01 \sim 0.05$)을 나타냈다. 하지만 b_H 는 활성슬러지와 거의 비슷한 값(≈ 0.06)을 나타냈다. 즉 자산화조에서 일어나는 슬러지 감량화 효과는 사멸계수에 의한 것이 아니라 미생물 생성계수가 아주 낮은 것에 의한 것임을 알 수 있다.

5) 자산화조에서 인발된 슬러지 양으로부터 SRT를 산정한 결과 약 42일이 산출되었다. 즉 실질적으로 보여지는 긴 SRT로부터 슬러지 감량화를 확인할 수 있다. 슬러지 감량화 효율은 최소 92.0%(질량기준)에서 최대 98.5%로 나타났다.

6) 운전 기간 동안 공정의 처리수는 방류수 수질 기준 이하를 안정적으로 유지하였다. 전체 공정의 BOD 제거율은 77.3~99.2%(평균 94.5%), CODcr 제거율은 43.5~93.8%(평균 80.4%), SS 제거율은 76.1~99.0%(평균 92.4%), TN 제거율은 13.8~

88.5%(평균 58.9%) 였다.

참고문헌

1. PVA에 고정화된 질화세균에 의한 암모니아성 질소 제거, *Korean J. Biotechnol. Bioeng.*, **16**, pp. 314-319 (2001).
2. Kuo-Cheng Chen, Jane-yii Wu, Chang-Cheng Huang, Yu-Min Liang, Sz-Chwun John Hwang (2002) Decolorization of azo dye using PVA-immobilized microorganisms, *Journal of Biotechnology*, **101**, pp. 241-252.
3. Metcalf & Eddy, *Aerobic Digestion, Wastewater Engineering Treatment and Reuse*, pp. 1533-1546.
4. Palma Parascandola, Paola Branduardi, Elisabetta de Alteriis (2005) PVA-gel (Lentikats) as an effective matrix for yeast strain immobilization aimed at heterologous protein production, *Enzyme and Microbial Technology*, **38**, pp. 184-189.
5. S. Bernard, N. F. Gray (2000) Aerobic Digestion of Pharmaceutical and Domestic Wastewater Sludges at Ambient Temperature, *Wat. Res.* **34**, pp. 725-734.