

활성오니공법에서 영양염류 조성비와 공기조절이 팽화발생에 미치는 영향

이장훈[†] · 권혁구 · 강병곤 · 정준오

호서대학교 환경 · 안전공학부 환경공학 전공

Effect of Nutrient Composition and Air Regulation on Bulking in the Activated Sludge Process

Jang Hoon Lee[†] · Hyuk Ku Kwon · Byeong Kon Kang · Joon Oh Jung

Environmental · Safety Eng. Division, Environmental Eng. Major, Hoseo University

(Received July 28, 2003; Accepted October 18, 2003)

ABSTRACT

The change in filamentous bacteria appearance was observed by adjusting factors such as organic and nutrient concentration of feed wastewater and the aeration rate in the reactor. In case that COD:N:P and DO were 100:10:1 and 6.1 ml/l respectively, the mean SVI was 122 ml/g and the filaments were developed normally in flocs. For the low DO condition, however, the SVI averaged 186 ml/g and the appearance of outgrowing filaments were more frequent. When the high organic was supplied into the reactor, the average SVI was 274 ml/g and the distinct filamentous bulking was observed. Meanwhile when COD:N:P was maintained at 100:1:0.5, the SVI was as low as 87 ml/g and the appearance of filaments were minimal and the size of flocs was small comparing other experimental conditions. For normal, low aeration and high organic concentration, predominant filaments in the early stage of experiments were commonly Type 021N, *S. natans* which were usually found in low DO condition. However, Type 041, Type 1851, Type 0961 became predominant as experiments extended. Meanwhile, in low nutrient condition, Type 0675, Type 1851, and Type 0961 were observed. The filamentous bacteria appearance for SVI < 150(ml/g), Type 0041, Type 0961(usually low organic in feed wastewater) were predominantly observed and SVI > 150(ml/g), *S. natans* and Type 021N(usually low DO in aeration basin) was predominant.

Keywords: Bulking, Filamentous organisms, Activated sludge process, SVI, Floc

I. 서 론

오늘날 생물학적 폐수처리에 가장 널리 이용되는 활성오니법은 잘 정립된 이론과 오랜 기술의 역사에도 불구하고 종종 이상현상의 야기로 폐수처리시설의 운전상의 어려움을 주고 있다.¹⁾

활성오니법은 유기성 하 · 폐수에서 미생물을 연속적으로 배양하여 여기에 적응하고 생성된 미생물에 의한 흡착, 산화, 동화에 의해 부유물과 용해성 물질을 제거하는 방법이다. 따라서 폭기조에서 유기물의 생물학적

산화와 침전조에서 고형물의 분리라는 주요공정을 거치며 고형물의 분리는 활성오니법의 성패를 가늠하는 주요인자이다.²⁾ 폭기와 침전이 상호 유기적이고 효과적으로 이루어지지 못하면 미생물이 제대로 floc을 형성하지 못하고 분산되거나 사상성 세균의 과도한 생성으로 침전된 오니의 밀도가 낮아져 오니의 침전속도가 늦어짐으로서 방류수의 탁도가 높아지게 된다. 또는 폭기조나 침전조의 표면에 거품 혹은 scum의 형태로 고형물이 부상함으로써 고액분리문제를 일으키게 된다.³⁾

현재 활성오니 공법에서 문제가 되는 팽화현상은 주로 급격한 운전조건의 변화로 발생되는 부적절한 용존 산소, F/M비, 영양염류, pH 등의 영향에 의해 사상성 세균의 이상 발생으로 일어난다. 팽화 현상에 대한 대책은 운전제어, 공정제어를 통한 장애요인의 제어와 화

[†]Corresponding author : Environmental · Safety Eng. Division, Environmental Eng. Major, Hoseo University
Tel: 82-41-540-5741, Fax: 82-41-540-5748
E-mail : jhlee@office.hoseo.ac.kr

학물질의 첨가로 일시적으로 효과가 있다는 등의 팽화현상의 원인과 처리대책에 관한 연구는 다수 보고되었으나^{4,7)} 출현 사상성 세균의 종류와 팽화현상을 일으키는 조건과 출현 우점종과의 상관관계에 관한 연구는 매우 한정되어 있다.^{8,9)} 그리고 국내에서는 가장 빈번히 발생하는 팽화현상의 원인과 사상성 세균의 확인에 관한 연구가 없다. 따라서 정확한 사상균의 확인이 가능하다면 팽화현상의 발생원인에 대한 간접적인 원인규명방법으로 이용이 가능하고 또한 우점하고 있는 사상성 세균의 기질이용과 증식 mechanism을 이해함으로써 팽화현상을 제어할 수 있는 방법의 제시가 가능하다.

본 연구에서는 하수종말처리장의 폭기조에서 시료를 채취하여 영양염류의 조성비와 공기조절을 달리하여 팽화를 유도하여 운전조건과 폐수 특성에 따른 각 사상성 세균의 출현조건과 범위를 정량화 하였고 팽화를 발생하게 하는 우점종을 제어할 수 있는 최적의 제어 조건을 제시하고자 하였다.

II. 연구 방법

1. 실험실 반응조 장치

실제 가동 중인 공정에서 폐수의 획득이 현실적으로 매우 어렵고 한정된 시료로 충분한 현상 파악이 곤란하였으므로 실험실조건에서 활성오니 반응조를 제작하여 Fig. 1에서와 같이 반응장치를 설계하여 이상현상을 관찰하였다. 반응조는 두께 5 mm의 투명 아크릴재질로 폭 15 cm, 길이 20 cm, 높이 20 cm로 제작하였다. 폭기조와 침전조 사이에 분리판을 설치하고 분리판의 높이를 조절하여 오니의 반송이 자유롭도록 하였으며 침전조의 상부로 유출수가 배출되어 유출 line을 통하여 집수되도록 하였다. 유입수는 회전속도의 조절이 가능한 정량펌프를 이용하여 유입시켰으며 공기공급은 공

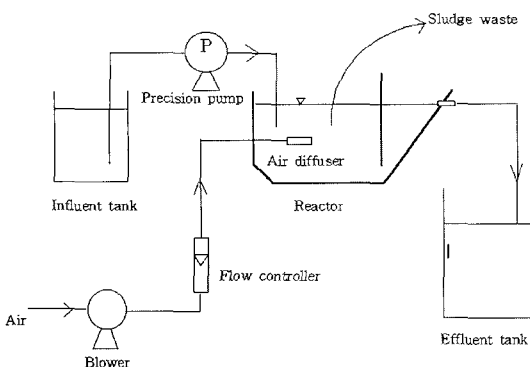


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

기펌프를 통하여 폭기조의 용존산소가 적정농도가 되도록 유량조절장치를 거쳐 공급하였다. 오니 배출은 폭기조의 MLSS가 일정량을 유지하도록 일정시간 주기로 간헐적으로 하였다.

2. 시료분석

폐수의 특성과 반응조 실험의 결과를 파악하기 위한 분석항목은 DO, COD_{Cr}, pH, TN, TP, MLSS SV₃₀이다. DO는 YSI 58 DO meter로 측정하였으며 COD_{Cr}, TN, TP는 HACH DR4000 spectrometer를 이용하여 측정하였고 pH는 Orion 520A pH meter로 측정하였다. MLSS는 K가 SS-1 Z MLSS meter로 측정하였으며 SV₃₀은 1l의 메스실린더에 잘 혼합된 MLSS를 30분 정치하여 침전오니의 부피를 %로 나타냈다.

3. 현미경 관찰

실험에 사용된 현미경은 위상차(phase contrast) 기능이 복합된 Olympus의 Model BX-50 삼안 광학 현미경을 사용하였으며 Floc의 형태 및 상태와 사상성 세균의 동정은 다음과 같은 항목을 측정하여 판단하였다.

1) 사상균의 발현정도 측정

사상성 세균의 발현정도는 측정이 비교적 용이하고 단순화된 Sezgin 등¹⁰⁾과 Jenkins 등¹¹⁾이 제시한 방법을 택하여 사상성 세균의 길이, 계수, 출현정도 등을 측정하였다. 사상성 세균의 총 길이($\mu\text{m}/\text{ml}$ MLSS)는 1.0 ml 중의 사상성 세균의 총 길이에 희석배수(500)를 곱하여 구하였으며 사상성 세균의 개수는 아래와 같은 식에 따라 조사 하였다.

$$\text{사상체 수}/\mu\text{l} = \frac{\text{가로측 교차 사상체 수}}{50 \mu\text{l}} \times \text{세로측 frame 수}$$

사상성 세균의 출현정도는 100배와, 1000배의 배율에서 관찰하여 floc당 사상성 세균의 개수로부터 Table 1과 같이 대략적으로 7등급으로 표시하도록 하였다.

2) Floc 관찰

Floc의 관찰은 일반적인 모양과 크기를 관찰하고 원생동물(protozoa), 윤충(rotifor) 등 고등 미생물, 단세포로 분산된 미생물, 비결정질 젤리형 미생물 및 사상성 세균의 유무를 조사하였다.

3) 사상성 세균의 특성파악

사상성 세균의 특성에 따른 분류작업으로는 분지(branch)의 유무, 운동성 및 부착세균 유무, 겹껍질(sheath) 및 격벽(cell septa)의 존재, 사상성 세균의 지름

Table 1. Subjective scoring of filament abundance¹⁾

Numerical Value	Abundance	Explanation
0	none	No filament observed
1	few	Filaments present, but only observed in an occasional floc
2	some	Filaments commonly observed, but not present in all flocs
3	common	Filaments observed in all flocs, but at low density (e.g., 1-5 filaments per floc)
4	very common	Filaments observed in all flocs at medium density (e.g., 5-20 per floc)
5	abundant	Filaments observed in all flocs at high density (e.g., >20 per floc)
6	excessive	Filaments present in all flocs-appears more filaments than floc and/or filaments growing in high abundance in bulk solution

과 길이, 사상균 및 세포의 모양, sulfur deposit의 유무, Gram 염색과 Neisser 염색 특성 등을 관찰하였다.

4) 사상성 세균의 동정

사상성 세균의 동정은 사상성 세균의 특성을 토대로 Eikeboom and Van Buijsen¹²⁾에 의하여 처음 제시된 방법 중에서 격벽(cell septa) 구조의 존재 유무에 의한 동정의 비율을 다소 줄이고 Gram 염색과 황 성분의

측정을 위한 S-test를 추가한 Jenkins 등¹¹⁾에 의한 방법에 따랐다.

4. 실험방법

유입수의 영양염류 조성비와 공기조절에 따른 팽화 관련 미생물을 조사하기 위하여 A하수종말처리장의 폭 기조에서 2차 침전지로 유입되는 지점에서 채취한 시료를 약 1주일간의 순응 기간을 거친 후 Table 2, 3에서와 같이 조건별로 조제된 합성폐수와 실험조건에 따라 유입수를 투여하면서 실험하였다. 즉, 팽화가 일어나지 않을 만한 조건인 정상상태의 유입수를 사용한 반응조(A), 정상상태의 유입수를 공급하면서 반응기내 유입공기의 양을 소량으로 공급한 반응조(B), 유입수의 COD:N:P의 비율이 고농도 상태인 반응조(C), N과 P가 결핍된 유입수를 사용한 반응조(D)로 나누어 운전하면서 팽화를 유도하였다.

Table 2. Composition of synthetic wastewater

Chemical	Condition			
	Normal (mg/l)	High organic (mg/l)	Low DO (mg/l)	Low N, P concentration (mg/l)
Glucose	4.4	13.2	4.4	4.4
CH ₃ COONH ₄	0.25	0.75	0.25	0.03
Sodium Glutamate	0.35	1.05	0.35	0.05
NH ₄ Cl	0.08	0.24	0.08	0.02
KH ₂ PO ₄	0.04	0.12	0.04	0.01
K ₂ HPO ₄	0.04	0.12	0.04	0.01
CaCl ₂	0.05	0.15	0.05	0.05
MgSO ₄ · 7H ₂ O	0.08	0.24	0.08	0.08
MnSO ₄	0.025	0.075	0.025	0.025
NaCl	0.08	0.24	0.08	0.08
FeCl ₃ · 7H ₂ O	0.004	0.012	0.004	0.004

III. 결과 및 고찰

1. 영양염류와 DO의 영향

A 하수종말처리장의 활성오니에서 영양염류와 운전 인자에 의한 팽화발생의 관계를 연구하기 위하여 (A) 반응조의 COD:N:P의 비율을 100:10:1로 하여 정상운

Table 3. Experimental condition of lab-scale activated sludge process

Reactor	Condition	Influent flow rate (ml/min)	Influent CODcr (mg/l)	Influent T-N (mg/l)	Influent T-P (mg/l)	Air flow rate (ml/min)	MLSS (mg/l)	F/M (gCOD/d/gMLSS) (mg/l)	SVI (ml/g)
Normal	(A)	1	130.8	14	1.56	2	2610	0.2	88.12
Low DO	(B)	1	130.8	14	1.56	0.5	2620	0.2	88.21
High organic	(C)	1	310	63	5.9	2	2630	0.4	91.25
Low N,P	(D)	1	176.4	2	0.8	2	2580	0.2	79.46

전 하였으며 (B)반응조는 (A)반응조보다 공기 공급량을 적게 하였다. (C)반응조는 영양염류의 농도를 높여 운전하였으며 (D)반응조는 100:1:0.5로 N, P농도를 적게 하여 운전하면서 비교실험을 수행하였다.

(A), (B), (C), (D)반응조에 DO가 각각 6.1 mg/l, 3.7 mg/l, 6.2 mg/l, 7.2 mg/l로 공급된 상태에서 반응조의 MLSS와 SVI의 평균값이 (A)반응조는 각각 2,407 mg/l, 122 ml/g (B)반응조는 2,600 mg/l, 186 ml/g이고,

(C)반응조는 2,557 mg/l, 274 ml/g이며 (D)반응조는 2,392 mg/l, 87 ml/g으로 MLSS는 (B),(C),(A),(D)반응기 순이었고, SVI는 (C),(B),(A),(D)반응기 순이었다.

1) SVI의 변화

SVI의 변화는 통상적으로 팽화현상의 지표로 이용되어진다. Fig. 2에 반응시간에 따른 SVI값의 변화를 나타내었다.

(A)반응조의 SVI가 88~140 ml/g으로 팽화의 기준점인 SVI 150(ml/g) 이하를 유지하는 것으로 나타났다. 그러나 정상 반응조(A)와 비교하여 DO농도가 낮게 유지되어진 (B)반응조의 경우에도 SVI값의 변화 양상은 운전 7일까지 (A)반응조와 유사하게 변화하였다. (A)반응조가 SVI값을 150 ml/g 이하를 유지하는 반면에 (B)반응조의 SVI값은 계속적으로 증가하는 것으로 조사되었다. 따라서 COD:N:P의 비율이 100:10:1인 경우 DO부족에 의해 팽화가 발생할 수 있다는 것을 시사하였다.

영양염류의 농도를 높여 COD:N:P의 비율이 100:20:2인 (C)반응조의 경우에는 반응 3일째부터 SVI가 150이

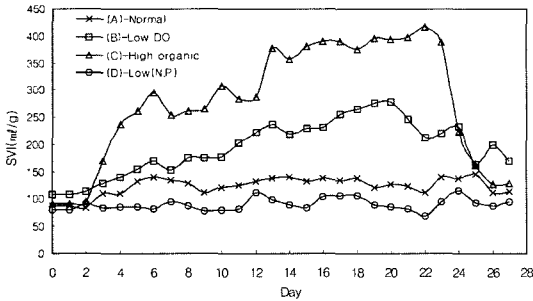


Fig. 2. Variation of SVI(Sludge volume index) in each reactor.

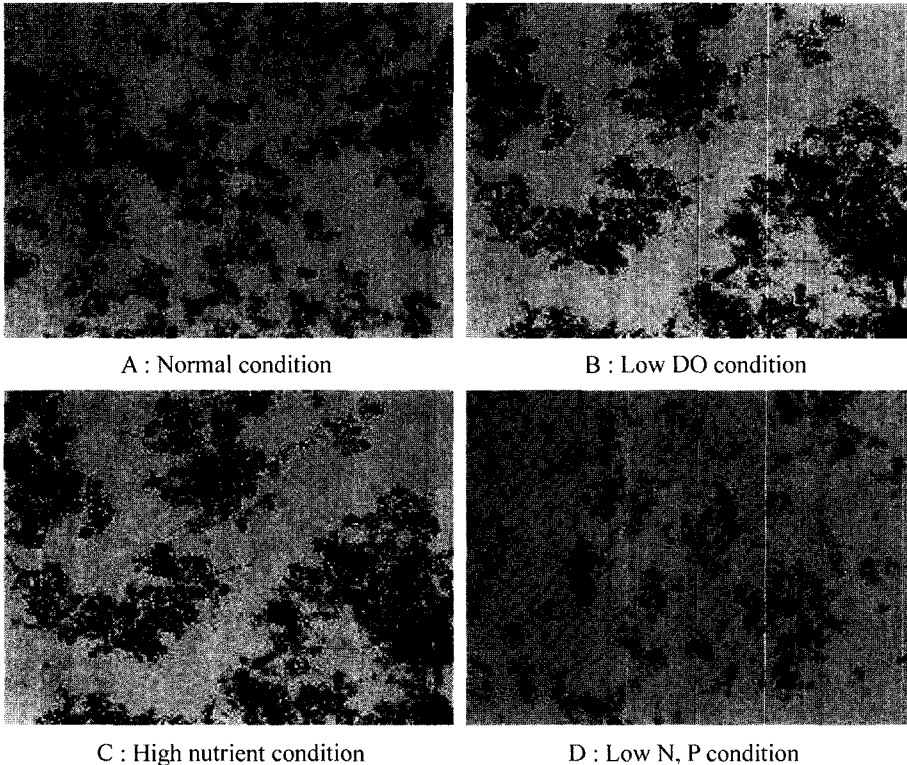


Fig. 3. Flocs of activated-sludge process with sewage wastewater in various condition (A, B, D : 100X ; C : 400X ; all direct illumination light).

Table 4. Floc characterizations and features in the activated-sludge process with sewage wastewater

Condition	Reactor	Type of activated-sludge process											
		normal			Low DO			High organic			Low N, P condition		
		14day	21day	30day	14day	21day	30day	14day	21day	30day	14day	21day	30day
Filament Abundance	Com	S	F	Com	Com	S	A	E	F	F	F	N	
Filament Effect on Floc Structure	LN	LN	LN	LN	OF	OF	Br	Br	LN	LN	LN		
Floc Morphology of Floc	W	W, I, D	W, I, D	W, I, D	W, I, D	W, I, D	F, I, C	W, R, C	W, I, D	W, I, D	W, I, D	W, I, D	
Floc Size(μm) (% in range)	500	600	300	500	500	600	750	600	400	900	150	300	

*N : none; F : Few; S : Some; Com : Common; A : Abundant; E : Excessive

*LN : Little or None ; Br : Bridging; OF : Open Floc Structure

*F : Firm; W : Weak; R : Round; I : Irregular; C : Compact; D : Diffuse

상으로 증가되기 시작하여 반응 20일째는 393 ml/g로 다른 반응조건에서 보다 매우 높은 SVI값을 유지하는 것으로 조사되었다. 그러나 저농도의 N, P가 유입되어 COD:N:P의 비율이 100:1:0.5인 (D)반응조의 경우에는 평균 SVI가 87 ml/g로 운전기간 동안 (A)반응조보다 낮은 SVI값을 갖는 것으로 조사되었다. 따라서 SVI값을 기준으로 조사하였을 경우 DO 농도의 증가 없이 고농도의 영양염류 부하 시에 팽화가 더욱 쉽게 발생하는 것으로 나타났다.

2) SVI와 floc형성 관계

운전 중에 관찰되어진 floc의 특징을 Fig. 3과 Table 4에 나타내었다. SVI값이 평균 122 ml/g로 유지된 (A)반응조의 경우 운전 초기에는 floc 형상은 분산되어 있는 것을 볼 수 있었으나 운전기간이 증가하면서부터 floc size가 커지고 floc내에 약간의 사상성 세균이 형성되는 것을 볼 수 있었다.

그러나 DO가 낮게 공급된 반응조(B)의 경우 SVI가 반응 4일째에 150 ml/g이상 되기 시작하였으며 218~278 ml/g를 유지하는 반응 8일 이후부터 floc의 형태는 weak, irregular, diffuse한 형태를 보였다. 또한 운전 13일경까지는 사상성 세균보다 점액균이 많이 있는 것으로 관찰되었으나 SVI가 계속적으로 증가 및 유지되면서 사상성 세균의 출현이 높아지고 있는 것을 관찰할 수 있었다.

영양염류부하가 높은 운전조건을 갖는 반응조(C)는 높은 SVI(250~390 ml/g)를 유지하는 동안에도 floc 사이에 상당히 많은 수의 사상성 세균을 관찰 할 수 있었다. 그러나 운전 20일경부터 DO 농도를 7-8 ml/g로 높여 운전한 결과 운전 26일 이후에는 SVI 수치가 100~200 ml/g로 감소하면서 사상성 세균도 감소하였다.

저농도의 N, P 조건인 (D)반응조에서는 SVI수치는 (A)(B)(C)반응조보다 낮았으며 사상성 세균의 수도 매

우 적었다. 그러나 Floc의 size는 다른 반응조에서 보다 매우 작게 형성되어 pin-floc 양상을 보였다.

3. 사상성 세균의 변화 및 특징

활성오니공정에서 침전과 compacting 특성을 결정하는데 있어서 사상성 세균의 발현 정도를 측정하는 것이 매우 중요하다. 발현정도의 측정은 크게 사상성 세균의 총 길이를 측정하는 방법과 사상성 세균의 수를 측정하는 방법 그리고 floc안의 사상성 세균의 수로부터 정상적으로 그 발현정도를 표현하는 방법이 있다. 이러한 관측은 다수의 연구자에 의하여 여러 방법이 제시되었으나^{13,14} 측정이 비교적 용이하고 단순화된 Sezgin 등¹⁰과 Jenkins 등¹¹이 제시한 방법을 택하여 운전조건에 따라 발생하는 사상성 세균의 종류를 Fig. 4에 나타내었으며, Table 5에서와 같이 순위와 빈도수를 갖는 것으로 측정되었다.

Normal 반응조(A)인 경우 *S. natans*, Type 021N, Type 0581, Type 0041, Type 1851이 출현하는 것으로 조사되었다. 초기에 Type 021N이 우점종이었으나 운전 후반부에는 Type 0041이 우점종으로 바뀌는 현상을 보였다. DO농도를 적게 공급한 반응조(B)에서는 *S. natans*, Type 1701, Type 021N, Type 0041, Type 1851 등이 출현하는 것을 볼 수 있었다. 초기에는 *S. natans*가 우점종이었으나 시간이 지날수록 Type 1851이 우점종으로 바뀌었다. 그러나 반응이 끝나는 시점에서 normal 운전조건과 같이 Type 0041이 우점종으로 나타났다.

영양염류 부하가 높은 반응조(C)에서는 *S. natans*, Type 021N, Type 0581, Type 1851, Type 0961이 출현하였다. 반응 초기에는 Type 021N과 *S. natans*가 우점하면서 팽화발생에 관여하였으나 점차 Type 021N으로 변한 뒤에 운전후반부에는 Type 0961로 우점종이

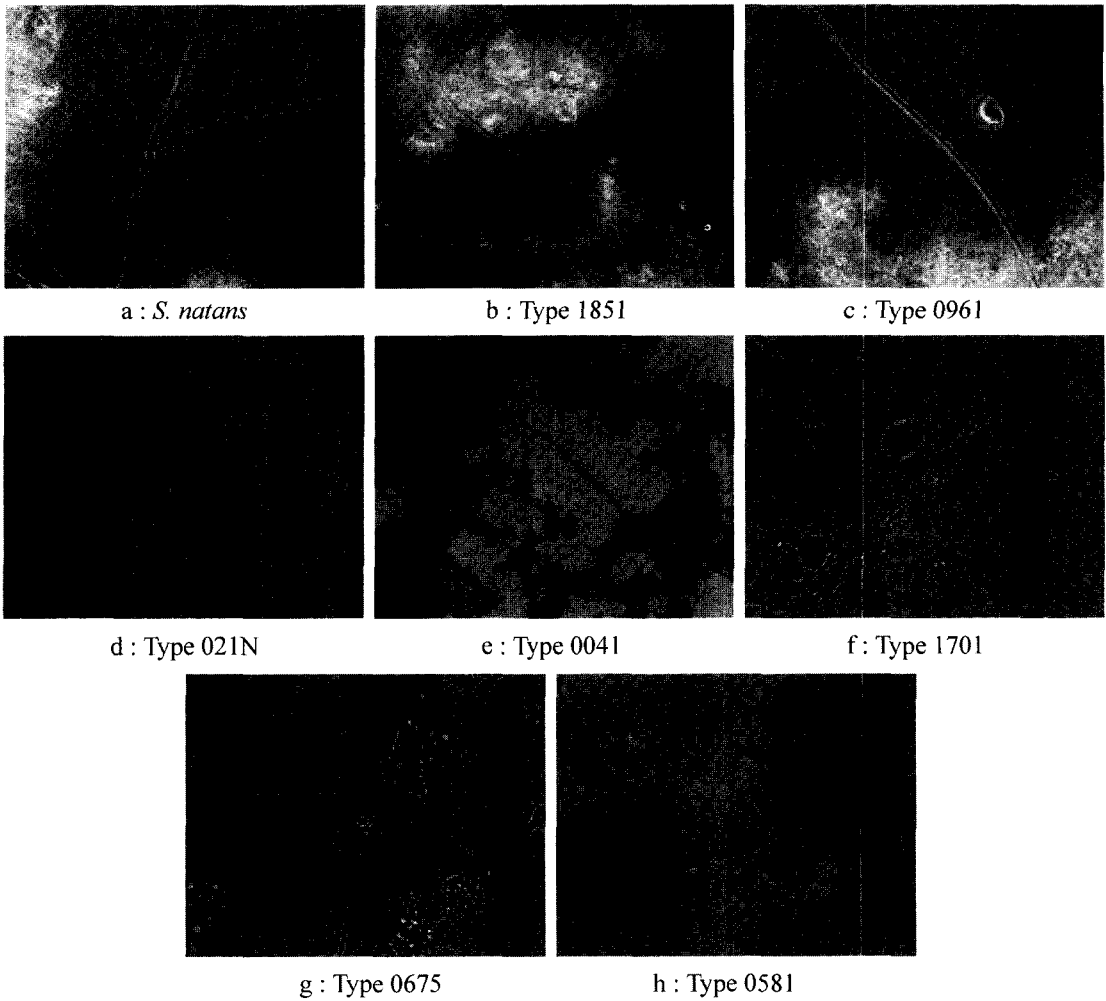


Fig. 4. Filamentous bacteria found in activated sludge process (a, b, c, f, g and h : phase contrast ; d and e : direct illumination light, Gram stain ; all 1000X).

Table 5. Rank and abundance of identified filamentous organisms in the activated-sludge process with sewage wastewater

Reactor Filament Type	Type of activated-sludge process											
	Normal			Low DO			High organic			Low N, P condition		
	14day (R/A)	21day (R/A)	30day (R/A)	14day (R/A)	21day (R/A)	30day (R/A)	14day (R/A)	21day (R/A)	30day (R/A)	14day (R/A)	21day (R/A)	30day (R/A)
<i>S. natans</i>	(3/20)			(1/45)	(2/30)		(2/35)					-
Type 1701				(2/35)								-
Type 021N	(1/50)			(3/20)		(2/20)	(1/55)	(1/90)				-
Type 0581	(2/30)						(3/10)					-
Type 0041		(1/60)	(1/60)		(3/20)	(1/80)						-
Type 1851		(2/40)			(1/50)			(2/10)	(2/30)	(2/30)		-
Type 0675										(1/70)		-
Type 0961			(2/40)						(1/70)		(1/100)	-

*R/A : Rank/Abundance

바뀌는 것으로 관찰되었다.

N, P의 농도가 낮은 반응조(D)는 초기에는 Type 0675와 Type 1851이 존재하였으나 점차 Type 0961로 바뀌는 것으로 나타났다. 전반적으로 (A)(B)(C)반응조의 초기운전조건에서는 DO공급이 부족 시에 주로 출현하는 사상성 세균이 우점 하였다.¹⁵⁾

(A)반응조에서는 Type 021N이, (A)반응조보다 DO를 적게 운전한 (B)반응조에서는 *S. natans*가 우점하였으며, 유기물의 부하가 높아 상대적으로 DO의 공급이 (A)반응조보다 부족할 수 있는 (C)반응조에서는 Type 021N과 *S. natans*가 동시에 우점종으로 나타나는 것을 관찰 할 수 있었다. 따라서 Type 021보다 *S. natans*가 DO의 결핍이 더욱 심한 경우에 우점종으로 출현한 것으로 생각된다. 그러나 운전이 진행되면서부터는 (A)(B)(C)반응조에서 낮은 유기물 부하 조건에서 출현하는 Type 0041, Type 1851, Type 0961이 각각 우점 하였으며, N과 P농도가 낮은 (D)반응조에서는 Type 0675와 Type 1851 그리고 Type 0961이 운전 초기와 후기에 각각 우점종으로 조사되어 영양염류의 결핍조건에서 출현하는 사상성 세균이 우점종으로 관찰되었다.¹⁵⁾ 또한 모든 반응조에서 SVI가 150 ml/g보다 낮아지는 시점에서는 낮은 유기물부하에서 출현하는 Type 0041과 Type 0961이 우점하는 것으로 조사되었고, SVI수치가 150 ml/g 이상으로 높은 경우에는 주로 DO가 부족한 경우에 출현하는 *S. natans*와 Type 021N이 우점하는 것으로 관찰되었다.

IV. 결 론

활성오니 처리과정 중에 출현하는 사상성 세균의 종류와 출현빈도 및 변화를 알아보고자 A 하수종말처리장 폐수에 영양염류 및 공기조절을 달리하였을 때 발생하는 팽화현상을 관찰하여 보았다.

1. COD:N:P의 비가 100:10:1인 경우 DO를 6.1 mg/l로 유지시킨 반응조(A)인 경우에는 SVI가 평균 122 ml/g이었고, 초기 floc은 분산되어 있었으나 반응이 진행되면서 floc내에 약간의 사상성 세균이 형성되었다. 그러나 DO를 3.7 mg/l로 유지시킨 반응조(B)에서는 SVI가 평균 186 ml/g이었고 사상성 세균의 출현빈도가 높았다.

2. 영양염류의 농도를 높여 COD:N:P비가 100:20:2인 반응조(C) 경우에는 평균 SVI가 274 ml/g로 가장 높았으나 DO의 공급을 높였을 때 SVI값은 감소하고 사상성 세균의 출현빈도도 적게 관찰되었다. 반면 낮은 농도의 N, P 조건으로 COD:N:P비가 100:1:0.5인 반응조

(D)는 SVI 수치의 변화가 거의 없이 평균 87 ml/g로 가장 낮았으며 사상성 세균도 거의 출현하지 않았으나 floc의 크기가 작게 형성되는 것을 관찰할 수 있었다.

3. 사상성 세균의 변화는 (A)반응조에서는 Type 021N에서 Type 0041로 우점종이 바뀌었으며 (B)반응조에서는 *S. natans*와 Type 1851이 차례로 우점하다가 운전 후기에는 Type 0041로 바뀌었다. (C)반응조에서는 Type 021N과 *S. natans*이 존재하다가 점차 Type 021N이 우점하였으며 SVI값이 낮아지는 후반에는 Type 0961로 바뀌었다. 그리고 (D)반응조에서는 Type 0675와 Type 1851이 Type 0961로 우점종이 바뀌었다.

4. (A), (B), (C)반응조의 초기에는 DO공급이 부족할 때 주로 출현하는 Type 021N, *S. natans*가 출현하였으며, 운전 후반부에는 낮은 유기물 부하 시 출현하는 Type 0041, Type 1851, Type 0961이 각각 우점종으로 관찰되었다. 그러나 N, P농도가 낮은 (D)반응조에서는 영양염류의 결핍 시 출현하는 Type 0675, Type 1851과 Type 0961만이 관찰되었다. 그리고 SVI 수치가 150 ml/g이하에서는 저유기물 농도에서 출현하는 Type 0041, Type 0961이 관찰되었고, 150 ml/g이상에서는 DO 부족 시 출현하는 *S. natans*와 Type 021N이 우점종으로 조사되었다.

참고문헌

1. Eikelboom, D. H. : Sulfur storing bacteria and bulking of activated sludge, In Environmental Technologies to Treat sulfur Pollution-principles and Engineering, eds. P. N. L. Lens and L. Hulshoff Pol, IWA Publishing, London, 449-466. 2000.
2. Clauss, F., He'lanine, D., Balavonine, C. and Bidault, A. : Improving activated sludge floc structure and aggregation for enhanced settling and thickening performances, *Water Sci. Technol.*, **38**, 35-44, 1998.
3. Madoni, P., Davoli, D. and Gibin, G. : Survey of filamentous microorganism from bulking and forming activated-sludge plants in italy, *Wat. Res.*, **34**(6) 1767-1772, 2000.
4. Jenkins, D., Neethling, H. B. and Richard, M. G. : The use of chlorination for control of activated sludge bulking, in *Bulking of Activated Sludge* Edited by Chamber, B., Ellis Horwood Limited, 1982.
5. 천병익 : MCRT에 의한 활성오니법의 제어, 석사학위논문, 한국과학기술원, 1980.
6. 최택열 : 활성오니처리 장애의 규명과 그 제어에 관한 연구, 한국환경위생학회지, **20**(2), 28-38, 1994.
7. 이정수 : 표준 및 간헐포기식 활성슬러지법의 처리특성에 관한 비교 연구(III), 대한환경공학회지, **21**(9), 1773-1782, 1999.
8. 정용연 : Bulking의 원인과 제어대책, 석사학위논문.

- 한양대학교, 1995.
9. 고광백, Sykea, R. M. : 활성슬러지 하수처리장에서의 Filamentous Bulking의 원인 규명을 위한 조사연구, 대한토목학회논문집, **7**(3), 77-87, 1987.
 10. Sezgin, M., Jenkins, D. and Parker, D. S. : A Unified Theory of Filamentous Activated Sludge Bulking, *J. Water Polln. Control Fedn.*, **50**, 362, 1978.
 11. Jenkins, D., Richard, M. G. and Daigger, G. T. : Manual on the causes and control of activated sludge bulking and forming, Lewis Publishers, 1994.
 12. Eikelboom, D. H. and van Buijsen H, J. J. : Microscopic Sludge Investigation Manual TNO Res. Inst. for Env. Hygiene, Delft, The Netherlands, 1981.
 13. Finstein, M. S. and Heukelekian, H. : Gross Dimensions of Activated Sludge Flocs with Reference to Bulking, *J. Water Poll. Control Fedn.*, **39**(33), 1974.
 14. Lee, S. E., Koopman, B. L., Jenkons, D. and Lewis, R. F. : The effect of Aeration Basin Configuration on Activated Sludge Bulking at Low Organic Loading, *Water Sci. Technol.*, **14**, 407, 1982.
 15. 류재근 : 미생물을 활용한 수질관리, 신광출판사, 1999-110, 2002.