

포기조의 낮은 용존산소로 인한 제지폐수의 슬러지 팽화특성

곽동희 · 유승준[†] · 박종천^{*}

서남대학교 환경화학공학부

^{*}서남대학교 의과대학 미생물학과

Characteristics of Sludge Bulking Caused by Low Dissolved Oxygen in Aeration Tank for Paper Mill Wastewater Treatment

Dong-Heui Kwak · Seung-Joon Yoo[†] · Jong-Chun Park^{*}

Division of Environmental and Chemical Engineering, Seonam University

^{*}Department of Micro-biology, Seonam University

(Received 11 March 2008, Accepted 3 July 2008)

Abstract

Bulking phenomena and scum formation are common problem in suspended growth system like the activated sludge plants for wastewater treatment. Apart from wastewater composition, operating conditions, such as mechanical stress by insufficient oxygen supply, are often decisive for the occurrence of a bulking or scumming problem. There were the comparative aeration tanks in terms of sludge bulking caused by the difference of mechanical aeration facilities in the wastewater treatment plant of N paper mill company. In this study the cause of bulking was investigated through not only the biological isolation and identification but also a series of operational data consideration. On the basis of the investigation results for bulking cause, the operational criteria on dissolved oxygen concentration was derived to decrease the bulking problem.

keywords : Activated sludge, Aeration tank, Bulking, Dissolved oxygen, Paper mill

1. 서론

1.1. 활성슬러지공정의 팽화

부유성장형 폐수처리시설은 본래 자체의 system이 가지고 있는 근본적인 안정성의 결여에 따라 처리현장에서 실제 처리효율의 변동이 자주 발생하며 특히, 슬러지 팽화(bulking)와 같은 문제점을 종종 유발시킨다(McCalf and Eddy, 2004). 따라서 이와 같은 부유성장형 폐수처리시설 즉, 활성슬러지공법에서는 팽화현상을 근본적으로 피할 수는 없으며 단지, 폐수처리시설마다 발생빈도와 발생량 정도의 차이를 나타낸다(Gaudy and Gaudy, 1990).

이 팽화현상은 모든 활성슬러지공법에서 공통적으로 발생하기는 하지만 그 원인과 제어방법이 각 시설마다 고유 특성에 따라 상당한 차이를 가지고 있으며 그 이유로 타 연구사례나 운영자료 등을 그대로 적용하여 팽화를 제어하기는 곤란한 것으로 알려져 있다. 특히, Kappeler and Gujer(1994b)에 따르면 폐수의 조성을 비롯하여 기계적인 산소공급에서 문제가 있으면 팽화가 진행된다고 한다.

본 연구대상 시설인 N 제지회사의 생물학적 폐수처리시설은 전통적 활성슬러지 공정이다. 이 폐수처리공정은 포기조에 설치된 포기장치의 노후화로 인하여 충분한 산소전달

이 이루어지지 않고 있으며 플록의 침전성 저하 등 처리효율이 낮아져 다소의 어려움을 겪고 있다.

본 연구에서는 N 제지회사의 생물학적 폐수처리공정에서 포기조 DO 농도의 저하에 따라 나타나고 있는 것으로 예상되는 팽화현상을 조사하였다. 그 팽화에 관련된 수질측정과 운전자료의 분석 및 원인 미생물에 대한 분리동정을 실시하여 수 현장의 폐수처리공정에 활용할 수 있는 연구정보를 제시하고자 하였다.

1.2. 팽화현상과 사상성 미생물

활성슬러지와 관련된 가장 흔한 운전상 어려움은 침전지의 슬러지의 분리와 관련된다. 활성슬러지 분리능은 슬러지 용적지표(SVI), 슬러지 밀도 지표(SDI), 또는 stirred specific 용적지표(SSVI)와 같은 지표로써 측정된다. 슬러지 침전의 문제점들은 팽화(bulking), 플록해체(deflocculation), 핀플록(pin-point flocs), 거품형성(foaming), 탈질산화(denitrification) 등으로부터 야기된다(Gray, 1990).

활성슬러지에서 팽화를 일으키는 미생물에는 여러 종류가 있는 것으로 알려져 있으며 주된 사상성 세균로는 *Sphaerotilus natans*, *Nocardia* sp., Eikelboom Type1710, Type 021N, Type0041, *Thiothrix* sp., *Microthrix parvicella*, *Beggiatoa* sp. 등이다(Bradley and Kharkar, 1996; Jonathan and Jenkins, 1980). 팽화현상과 관련되어서는 호기성 팽화

[†] To whom correspondence should be addressed.
sjyoo001@hanmail.net

는 *S. natans*, Type 021N, Type 0961 등과 관련이 있고, 방선균(Actinomycetes)에 의한 스킴은 *M. parvicella*, Type 0092, Type 0041 등과 연관되며 그리고 황산화세균에 의한 팽화는 *Thiotrix*, *Beggiatoa*, Type 021N 등이 주된 출현 세균으로 나타난다(Kappeler and Gujer, 1994a).

슬러지 팽화 문제에 크게 두 가지 원인이 있을 수 있는데, 하나는 각종 환경조동에 악화된 상태에서 사상성 박테리아나 균류 등 사상체로 성장하는 미생물의 성장에 의한 것으로 슬러지 팽화의 대부분은 이러한 형태이다. Jenkins 등(1984)에 의하면 사상성 미생물의 전체길이가 $10^7 \mu\text{m}/\text{mg}$ 을 넘는 것으로 관찰되었으며, 25가지 이상의 사상성 미생물이 팽화된 활성슬러지에서 관찰되었다. 다른 하나는 플록의 물성에 의한 것으로서, 미생물로 형성된 플록이 물을 머금어 부풀어 올라 밀도가 감소하여 침전이 잘되지 않는 원인이다.

사상성 미생물의 성장에 영향을 미치는 인자에는 유입폐수의 성장(쉽게 생분해되는 기질의 양 등) SRT, 반응조의 DO농도, 영양소의 함량, pH 등으로 알려져 있다. 플록형성 미생물과 비교할 때 사상성 미생물은 낮은 DO농도에서도 잘 성장하기 때문에 DO농도는 팽화조절에서 상당히 중요한 요소로 작용한다. 그리고 DO농도는 유입수의 유기물 농도와 반응조 안의 미생물 농도의 비(F/M)에 직접적으로 영향을 받는다.

질소, 인과 같은 미생물의 세포합성에 필요한 영양소도 팽화를 유발하는 원인이 되며 이런 영양소가 부족할 경우에는 플록형성균보다 사상성 미생물이 더 잘 번성한다고 알려져 있다. pH도 미생물 성장에 영향을 미치지만 특별한 경우를 제외하고 일반 하수의 pH는 일정한 범위이므로 pH의 영향은 상대적으로 적다. 포기조에서 황화물의 농도가 높으면 *Thiothrix* sp., *Beggiatoa* sp. 그리고 Type021N과 같은 사상성 세균이 증가한다. 이 같은 미생물들은 에너지원으로 황화물을 이용하여 황으로 산화시켜 세포내에 황 입자로서 저장된다(Storm and Jenkins, 1984).

특히, 포기조의 낮은 DO는 *S. natans* 등 사상성 세균의 성장을 초래한다(Eikelboom, 1975). 낮은 F/M 비에서의 낮은 DO 조건에서는 *H. hydrossis*의 성장이 우세하게 된다. 낮은 DO에서의 사상균의 증식을 억제하기 위해 요구되는 DO농도는 F/M부하의 함수와 관련이 있다고 알려져 있다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상 폐수처리공정

본 연구대상 시설은 N 제지회사의 생산공정에서 발생하는 각종 오·폐수를 비롯하여 다양한 화학약품 및 제지펄프 부산물 등의 혼합폐수를 처리하고 있다. 제지산업은 통상 다량의 폐수를 발생시키며 제지폐수는 일반적으로 그다지 높지 않은 폐수처리 효율을 나타낸다.

다음의 Table 1과 Fig. 1에는 N 제지회사 폐수처리시설의 주요 공정제원과 처리계통 flow sheet를 간략화하여 나타내었다. 이 활성슬러지공정의 포기조에서 제2열의 포기조

Table 1. Dimension of wastewater treatment processes (line No.2 of aeration tank)

Process	Shape	Dimension
Storage tank	Rectangular	Capacity: 4,329 m ³
Mixing chamber	Rectangular	Capacity: 180 m ³
Flocculation basin	Rectangular	Capacity: 704 m ³
1st settling tank	Round	Φ=40 m, H=3 m
Pre-aeration tank	Rectangular	Capacity: 900 m ³
Aeration tank (#2)	Rectangular	Capacity: 4,800 m ³ W=20 m, L=20 m, H=4 m
2nd settling tank	Round	Φ=40 m, H=3 m

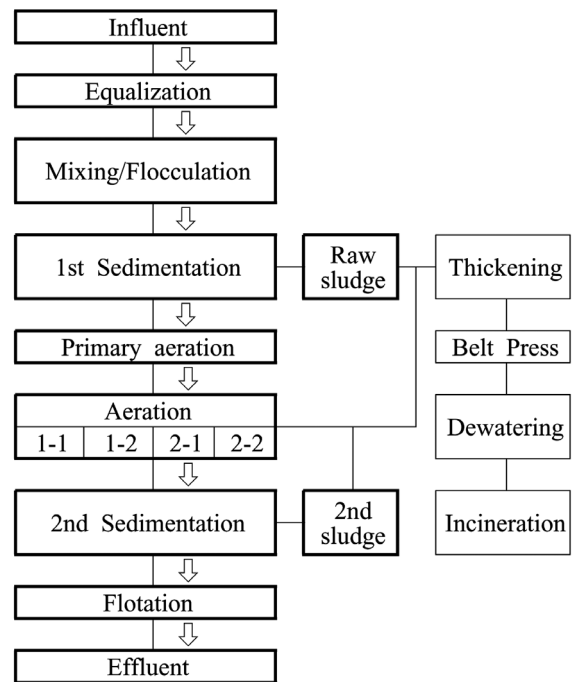


Fig. 1. Flow sheet of pulp wastewater treatment processes at paper manufacturing company.

중 #2-2는 포기장치의 노후화로 인하여 충분한 산소전달이 이루어지지 않고 있으며, 낮은 처리효율과 빈번하게 발생하는 팽화현상 때문에 다소의 어려움을 겪고 있다. 특히, 포기장치를 제외하고는 운전조건이 동일한 #2-1 포기조는 #2-2와 비교하여 상대적으로 슬러지팽화에 의한 문제가 적은 상황이다.

2.2. 연구방법과 미생물의 분리동정

폐수처리공정의 슬러지 팽화원인과 발생특성을 살펴보기 위하여 본 연구에서는 1)수질과 운전상태 조사, 2)현장의 DO 농도분포 측정, 3)운전자료를 분석하여 처리상태 평가, 4)포기조의 사상성 세균의 분리동정 등을 실시하였다.

사상성 미생물의 분리용 배지는 Table 2와 같이 Eikelboom(1975)의 방법에 따라 제조되었으며 배양 온도는 30°C에서 수행하였고, 배양 시간은 5~10일간 배양하였다. 형태 관찰을 위해 광학현미경(×400~×1000)을 사용하였고, Gram stain, Nisser stain 및 negative stain은 일반적 Stan-

Table 2. Composition of selective media for isolation and identification of this study

Medium	Composition
I	Basal salt, glucose 0.15 g
GS	Basal salt, glucose 0.15 g, Na ₂ S · 9H ₂ O 0.187 g
AcS	Sodium acetate 0.15 g, Na ₂ S · 9H ₂ O 0.187 g, Basal salt
LT	Salt-vitamin mix, Sodium acetate
Solid medium	Addition of 1.5% Bacto agar

dard Method(APHA et al., 1998)에 의해 수행되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 처리공정의 수질

폐수처리공정의 수질특성을 조사하기 위하여 이화학적 수질분석을 실시하였으며 그 결과는 다음의 Table 3과 같다. 여기서 유입수는 폐수처리공정의 유입 원수이며 2차 침전지 유출수는 포기조 전체 유출수가 합쳐져 침전된 수질로써 1개월간의 평균치이다. 다음의 Fig. 2는 1개월 동안 매일 측정된 pH와 BOD의 변화를 나타내고 있다. 여기에서 pH 변동폭은 인위적으로 조절하므로 제한적이다. BOD 제거율은 포기조 #2-1과 #2-2간의 상당한 차이를 볼 수 있다. 이 차이를 유발할 것으로 예상되는 포기조에서의 DO 농도는 다음 절에서 논하기로 한다.

한편, 유입수에서 ABS(alkyl-benzene sulfonate)나 n-Hexane 등 스크(scum)이나 거품을 직접 유발하는 물질은 검출되지 않았다. 그리고 유입수에는 BOD로 표현된 유기물질에 비하여 질소와 인 등의 영양물질 농도가 포기조 미생물의 생육에 적절한 조건으로 알려진 BOD:N:P=100:5:1에 미치지 못하고 있었고, 응집침전을 실시하므로 포기조 유입수의 인은 크게 부족하였다. 그러나 이 부족한 영양물질은 활성슬러지 유입부에서 연속적으로 주입되고 있어 질소나 인의 부족으로 인하여 팽화가 나타날 가능성은 매우 적은 상태였다. 처리공정에서 황산이온이 매우 높은 농도로 나타났으며 이는 생산공정에서 사용되는 황산 및 황화합물이 배출

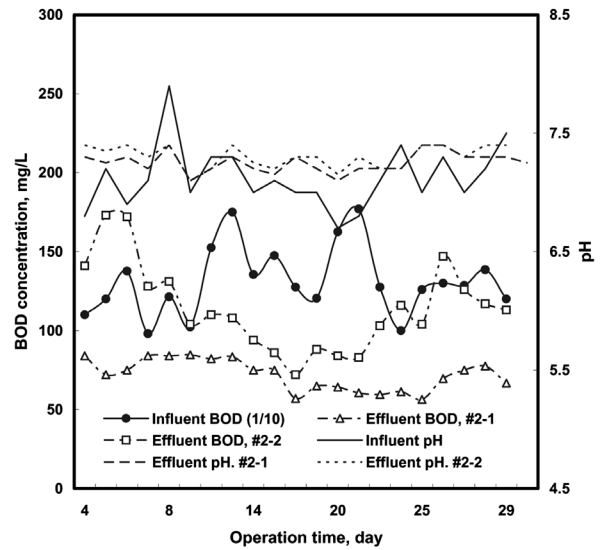


Fig. 2. Variation of pH and BOD for aeration tanks.

되고 있고, 이와 더불어 응집공정을 거치면서 응집체에 포함된 SO₄²⁻이온이 수중에 방출되기 때문일 것이다.

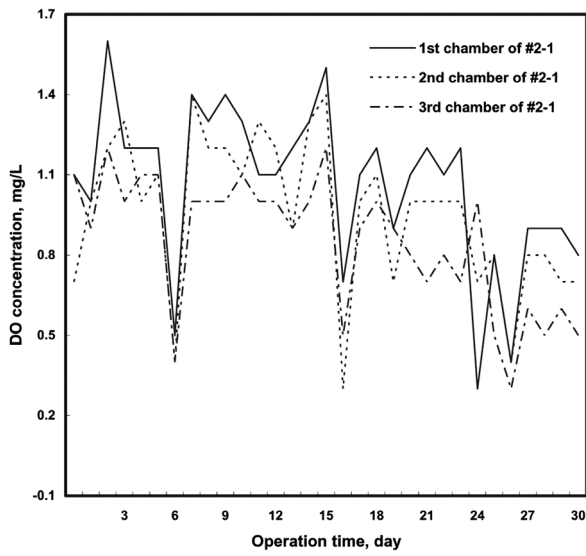
3.2. 포기조의 DO 분포 및 운전상태 조사

포기조의 DO 운전내역을 3격실(chamber)로 나뉘어져 있는 격실별로 세분화하여 살펴보았다. 다음 Fig. 3에 나타낸 바와 같이 포기조 #2-1에 비하여 슬러지 팽화가 상대적으로 심한 포기조 #2-2는 운전된 DO농도의 범위도 낮았으며 흐름이 경과할수록 격실의 DO 감소폭도 컸다.

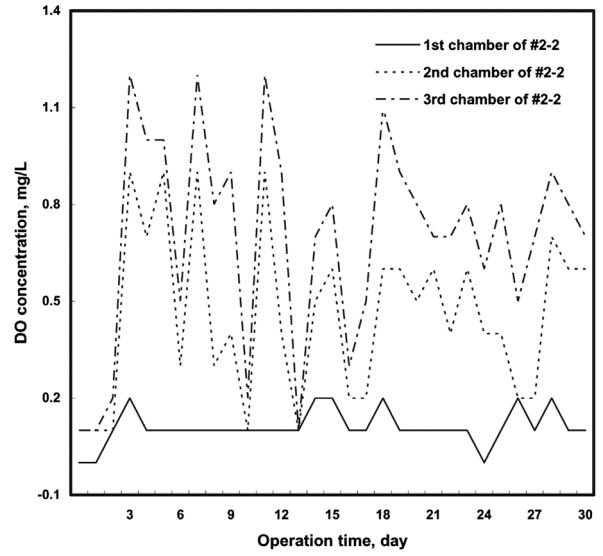
Fig. 3에서 살펴본 바와 같이, 포기조의 DO 농도는 큰 차이를 나타내고 있다. 따라서 이 DO 불균형 상태를 보다 세밀하게 조사하기 위하여 #2-1과 #2-2 포기조의 내부 DO 농도를 직접 측정하여 DO 농도의 분포와 변화특성을 조사하였다. 다음의 Fig. 4는 3격실로 나뉘어진 포기조의 깊이와 흐름방향(격실의 종단면)에 따른 DO 변화를 나타내고 있다. 포기조 #2-1의 DO 농도는 유입기질이 점차 분해되어 산소 소모량이 적고 포기장치로부터 공급되는 DO로 인해 종단면 흐름방향으로 점차 상승하는 경향을 나타내고 있으

Table 3. Water quality characteristics by the processes

Items	Influent	Aeration tank		Eff. of Settling
		Eff. of #2-1	Eff. of #2-2	
BOD, mg/L	1,503	-	-	91
COD _{MN} , mg/L	1,100	-	-	90
SS, mg/L	3,265	3,079	2,570	34
T-N, mg/L	18.516	17.580	16.672	6.900
NH ₃ -N, mg/L	2.536	0.576	0.270	3.210
NO ₂ -N, mg/L	0.245	0.340	0.117	0.010
NO ₃ -N, mg/L	11.906	11.364	9.830	3.230
T-P, mg/L	0.448	2.452	2.824	1.352
PO ₄ -P, mg/L	0.393	2.114	2.620	1.248
SO ₄ ²⁻ , mg/L	1,690	2,134	2,090	-
n-Hexane, mg/L	0.000	0.000	0.000	0.000
ABS, mg/L	0.000	0.000	0.000	0.000

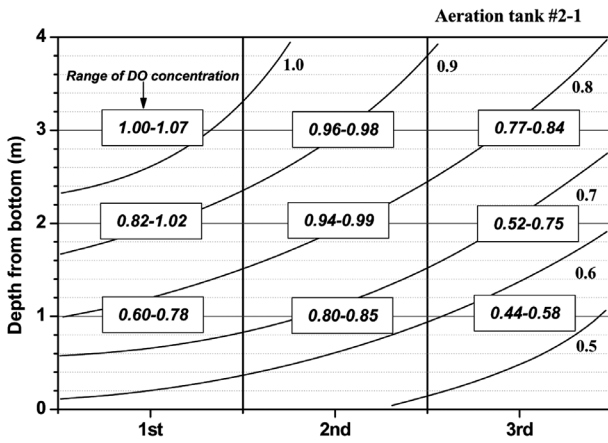


(a) Aeration tank #2-1

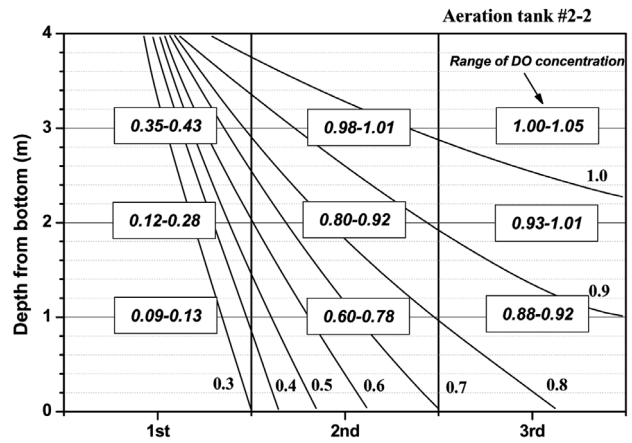


(b) Aeration tank #2-2

Fig. 3. Variation of DO for the 3 divided chambers in the aeration tank of each line.



(a) Aeration tank #2-1



(b) Aeration tank #2-2

Fig. 4. DO profiles in the aeration tanks depending on depth and sectional length.

나, 포기조 #2-2의 경우는 노후화된 포기장치로 #2-1과 상반된 DO 농도분포를 보이고 있다. 포기조 #2-2는 #2-1에 비하여 DO농도가 크게 부족하고 유입기질(BOD)의 분해로 감소되는 DO를 포기장치가 보충시키지 못하고 있다. 이와 같은 DO의 부족으로 포기조 #2-2의 낮은 처리효율이 유발되고 있으며, 포기조 미생물상에도 상당한 영향을 주고 있을 것으로 짐작된다.

낮은 DO로 인하여 팽화가 나타날 때 증식되기 쉬운 사상체로는, MCRT(mean cell resident time)가 비교적 짧은 경우 *S. natans*, Type 1701 등이 대표적이며 MCRT가 길 경우에는 *M. parvicella*가 잘 증식하는 것으로 알려져 있다. *S. natans*의 증식억제에 필요한 DO농도는 F/M비 운전과 상관관계가 있음이 밝혀진 바 있다(Chudoba, 1985). 따라서 다음 절에서는 포기조의 고형물 부하율을 살펴보았으며, 이에 따른 미생물 조사는 뒤에서 논하기로 한다. 운전기간 동안 평균 F/M 비는 다음의 Fig. 5에 나타낸 바와 같이 포기조 #2-1과 #2-2가 각각 0.36, 0.33 kg-BOD/kg-MLSS · d

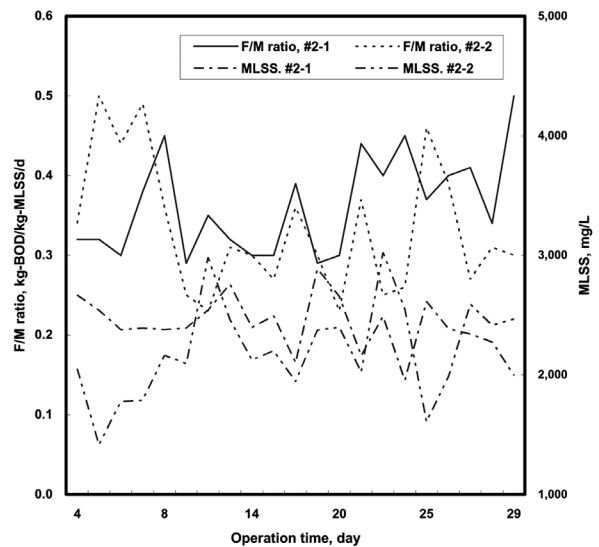


Fig. 5. F/M ratio and MLSS in terms of operation time for the aeration tanks.

로 운전되었다. 앞에서 살펴본 바와 같이 포기조 #2-2는 낮은 DO에도 불구하고 #2-1과 유사한 F/M 비로 운전되어져 처리효율의 감소와 함께 팽화와 관련이 있을 것으로 예상할 수 있다. 낮은 F/M 비에서의 낮은 DO 조건에서는 *H. hydrossis*의 성장이 우세하지만 본 폐수처리공정의 포기조는 높은 F/M 비로 운전되어 이와 같은 세균은 출현이 어려운 상황이다.

3.3. 슬러지 침전 및 고형물부하율 운전

본 폐수처리공정에서 2차 침전조에서 유출하는 고형물농도 Xe가 아주 소량이고, 기존 운전자료를 고려하면 Qw 《Q이므로 다음의 식 (1)이 성립되며 여기서 Qr에 따라 농축정도가 결정된다.

$$(Q+Qr)X = QrXr$$

$$Xr/X = (Q+Qr)/Qr \tag{1}$$

여기서, X : 포기조의 MLSS(mg/L)

Q : 유입 유량(m³/d)

Qr: 반송 유량(m³/d)

상기 식 (1)은 다음의 식 (2)와 같이 유도되며 여기서 Qr은 슬러지가 침전조에 축적되지 않도록 하는데 필요한 슬러지 반송량이다. 여기서 Xr이 X에 비해 클수록 반송율을 적게 운전할 수 있으며 Xr이 감소하면 즉 bulking 상태이면 Qr을 증대시켜야 한다.

$$QX+QrX = QrXr$$

$$QX = Qr(Xr-X)$$

$$Qr = QX/(Xr-X) \tag{2}$$

다음 식 (3)을 이용하여 유량을 어느 정도까지 증가시키든 침전조에서 이상 없이 슬러지를 침강시킬 수 있는지를 결정할 수 있는 허용유량(allowable flow rate, Q_{allowable})을 계산할 수 있다.

$$Q = Qr(Xr-X)/X \tag{3}$$

또한, 2차 침전조에서의 슬러지의 침강은 지역침전 형태(zone settling)를 나타낸다. 플록의 초기 침강속도는 SS의 증가에 반비례한다. 침전조의 SS부하속도는 침전조로 부하되는 슬러지 부하속도가 침전조에서의 슬러지 침강속도와 침전조 바닥에서 슬러지를 빼내는 속도의 합보다 크면 슬러지는 침전조에서 점차 축적되어 결국 침전조를 월류하게 된다. 폐수처리공정에서 침전조에 대한 허용고형물부하율(allowable SS loading rate, G_{allowable})은 다음의 식 (4)와 같이 계산된다.

$$G_{allowable} = X(Q+Qr)/A \tag{4}$$

여기서, A : 침전조 수면적(surface area)

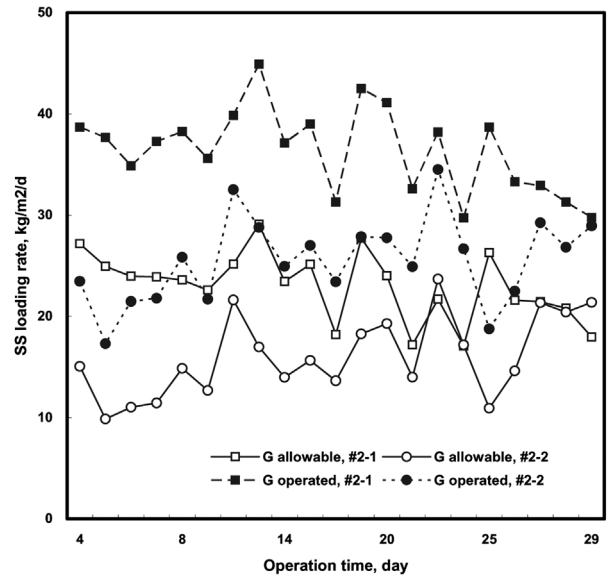


Fig. 6. Comparison of SS loading rate between operational data and calculated allowable values.

허용고형물부하(G_{allowable})는 Qr/A와 슬러지의 침강특성과 관계되므로 운전에 따라 증감이 가능하다. 다음의 Fig. 6은 운전자료를 기초로 계산된 허용SS부하(G_{allowable})와 실제 운전된 고형물부하(G_{operated})를 나타내고 있으며, 포기조 #2-2뿐 아니라 #2-1도 허용고형물부하보다 높게 운전되었다. 이는 포기조 #2-2의 낮은 처리율을 보상하고자 모든 포기조의 반송비(recycle ratio)를 상승시켜 운전하였기 때문이다. 그러나 반송비의 증가는 2차 침전지의 고형물부하를 상승시키고 있었으며 이와 같은 반송비의 증가로는 목적으로 하는 처리효율의 상승을 유도하지 못하고 있음을 알 수 있다.

한편, 지역침전속도와 SS농도와의 관계는 Daigger and Roper(1985)에 의하여 보고된 바 있으며, 다음의 Fig. 7은 50~350 mL/g의 SVI 범위에 있어서 반송슬러지(return activated sludge, RAS)의 SS농도에 따른 허용 고형물부하율(G_{allowable})을 나타내고 있다.

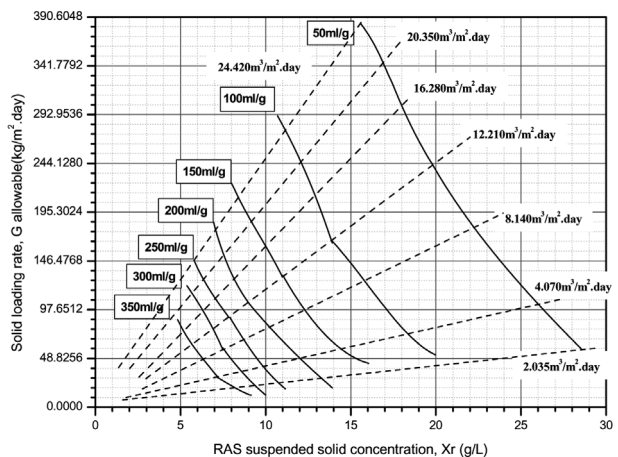


Fig. 7. Calculation tank design and operation diagram (Daigger and Roper, 1985).

본 폐수처리공정의 실험자료로 허용고형물부하율을 도식화할 수 있으나 처리공정이 정상상태에 있지 못하고 팽화된 슬러지이므로 자료로써 활용성이 떨어진다. 다만 참고로 Fig. 7의 허용고형물부하곡선에서 본 처리공정의 수표면부하율(4.4~7.8 m³/m²·d)과 고형물부하율(17.3~44.9 kg/m²·d)의 운전조건이라면 반송슬러지 농도가 약 7,000 mg/L, SVI가 350 mL/g 정도로 악화될 수 있음을 유추할 수 있다.

3.4. 폐수처리공정의 사상성 미생물

활성 슬러지상에 출현하는 생물상은 계의 운전상황을 알려 주는 자료이므로 출현 원생동물종, 사상성 세균종 및 floc의 상태 등 생물상 전체를 파악함으로써 활성슬러지의 상태를 종합적으로 진단할 수 있다. 생물상 조사결과로 과거 상황에서 현재에 이르기까지의 운전경과를 복합적으로 파악할 수 있는 것으로써, 만약 처리시설의 운전상태가 비교적 안정하다면 과거의 연장선에 가까운 장래의 수처리 상황을 예측할 수 있다. 그러나 생물상에 의한 관찰 결과

로부터 각종 정보를 빠르게 판단하는데 관찰자의 경험과 지식이 상당히 필요하다. 따라서 이점이 생물상에 의한 유지관리 방법의 단점으로 인식되기도 한다.

본 N 제지회사의 활성슬러지 유출수와 포기조 미생물군락에 대한 조사를 실시하였다. 활성슬러지에서 분리 동정된 사상성세균의 형태는 Fig. 8에 나타내었다. 팽화와 관련이 있는 *S. natans*, Eikelboom type 012N, Type 1701, *Nocardia* sp. Type 0041, *M. parvicella*, *N. limicola*, *Beggiotoa* sp., *Thiothrix* sp. 등 총 11 종이 분리 동정되었으며 대부분의 종들은 선택배지에서 잘 증식되었다.

처리공정의 #2-1과 #2-2의 포기조 내부 활성슬러지와 유출수에 대하여 사상성 미생물을 중심으로 분리동정한 결과는 다음의 Table 4와 같다. #2-2 포기조에서는 정상적인 #2-1 포기조의 활성슬러지에 비해 사상성 세균이 많이 성장하고 있었다. 특히 슬러지팽화의 원인 미생물로 잘 알려진 *S. natans*은 포기조 #2-1에 비하여 #2-2에서는 75~95 cfu/mL로 높은 밀도를 나타내었다. 그리고 Eikelboom type 012N도 #2-2 포기조에서는 150~200 cfu/mL로 높게 나타났다. 아울러, 수표면의 스크름을 잘 형성하는 것으로 알려져 있는 *Nocardia* sp.도 #2-2에서는 535~625 cfu/mL로 #2-1에 비하여 상당히 높은 밀도를 보였다.

특히, 본 사상성 미생물 개체수가 포기조 #2-1에서도 상

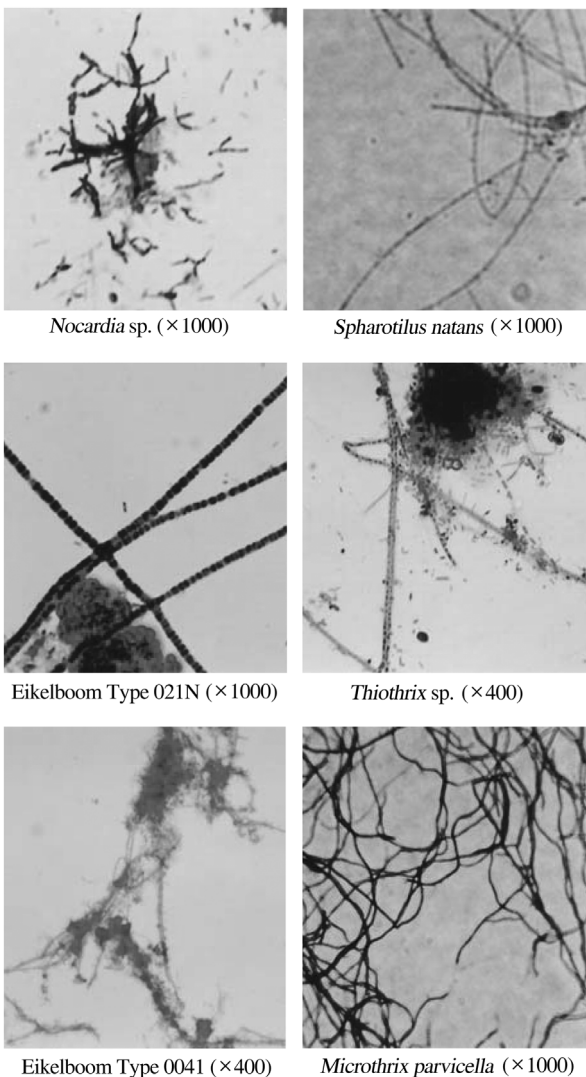


Fig. 8. Photographs of filamentous micro-organisms identified in this study.

Table 4. Distribution of filamentous microbes at the two comparative points of aeration tank

Aeration tank #2-1		Unit: cfu/mL
Species of effluent	Species of mixed liquid	
Filamentous microbes 198	Filamentous microbes 567	
Fungi 20	Fungi 55	
<i>Sphaerotilus natans</i> 20	<i>Sphaerotilus natans</i> 60	
Type 021N 60	Type 021N 120	
<i>Nocardia</i> sp. 60	<i>Nocardia</i> sp. 250	
<i>N. limicola</i> II 0	<i>N. limicola</i> II 5	
<i>N. limicola</i> III 0	<i>N. limicola</i> III 15	
<i>Microthrix parvicella</i> 6	<i>Microthrix parvicella</i> 7	
Type 1701 11	Type 1701 18	
<i>Thiothrix</i> sp. 16	<i>Thiothrix</i> sp. 26	
<i>Beggiotoa</i> sp. 3	<i>Beggiotoa</i> sp. 7	
Type 0041 2	Type 0041 4	
Aeration tank #2-2		Unit: cfu/mL
Species of effluent	Species of mixed liquid	
Filamentous microbes 864	Filamentous microbes 1,054	
Fungi 30	Fungi 35	
<i>Sphaerotilus natans</i> 95	<i>Sphaerotilus natans</i> 75	
Type 021N 150	Type 021N 200	
<i>Nocardia</i> sp. 535	<i>Nocardia</i> sp. 625	
<i>N. limicola</i> II 5	<i>N. limicola</i> II 5	
<i>N. limicola</i> III 10	<i>N. limicola</i> III 9	
<i>Microthrix parvicella</i> 5	<i>Microthrix parvicella</i> 9	
Type 1701 10	Type 1701 12	
<i>Thiothrix</i> sp. 18	<i>Thiothrix</i> sp. 36	
<i>Beggiotoa</i> sp. 2	<i>Beggiotoa</i> sp. 8	
Type 0041 4	Type 0041 0	

당수가 나타난 이유는 본 폐수처리공정은 포기조 #2-1과 #2-2에서 2차 침전지로 함께 유출되므로 동일한 반송슬러지가 순환되는 원인으로 판단된다.

이상의 미생물 분리동정 결과를 토대로 살펴볼 때, N 제지회사 폐수처리시설 슬러지팽화는 낮은 pH, 영양물질 부족 또는 계면활성제 등과 상관이 없었으며 낮은 DO 농도로 인하여 증식되는 사상성 미생물로 인한 팽화로 판단되어진다. 또한 *Nocardia* sp.도 많이 확인되어 슬러지 팽화뿐만 아니라 스컴의 형성에도 영향을 미치고 있음을 알 수 있었으며 이 현상으로 실제 현장에서 포기조 표면에 축적된 스컴을 쉽게 관찰할 수 있었다.

한편, N 제지회사 폐수처리시설의 경우 황산화 세균인 type O12N과 *Thiothrix* sp. 등이 일반적으로 팽화된 폐수처리시설의 다른 사례에 비해 높은 밀도로 나타나는 특징을 보였다. 이는 폐수의 이화학적 조성에서 보여준 바와 같이 폐수 내 황함유 물질농도가 높은 것과 일치하고 있다.

4. 결론

본 연구대상 시설인 N 제지회사의 생물학적 폐수처리공정에서 포기장치의 노후화와 함께 나타나고 있는 슬러지팽화의 원인과 발생특성을 이화학적 분석과 운전자료의 고찰 및 미생물 분리동정을 토대로 살펴본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 유입 원수의 수질특성을 살펴본 결과 슬러지팽화와 관련된 물질은 검출되지 않았으며, 낮은 DO 농도를 제외한 pH나 부족한 영양물질이 운전과정에서 보충되어 팽화의 원인으로 간주할 수 없었다.
- 2) 포기장치가 정상 가동되는 포기조 #2-1에 비하여 포기장치가 노후된 포기조 #2-2의 DO 농도의 분포는 크게 낮았고 유입기질의 분해로 감소되는 DO를 포기장치가 보충시키지 못하고 있어 포기조 미생물상에 영향을 미치고 있었다.
- 3) 낮은 DO농도에도 불구하고 포기조 #2-2는 #2-1과 유사한 범위에서 F/M 비가 운전되고 있었다. 고품물부하는 포기조 전체가 허용고형물부하보다 높게 운전되었으며 이는 포기조 #2-2의 낮은 처리율을 보상하고자 반송비를 상승 운전하였기 때문이다. 그러나 높은 반송비 운전이 2차침전지의 고품물부하를 상승시킴으로써 목적하는 처리효율 상승을 유도하지 못하고 있었다.
- 4) 포기조의 내부 활성슬러지와 유출수의 미생물을 분리동정한 결과, 낮은 DO 농도에서 주로 나타나는 사상성 세균으로 *S. natans*, Eikelboom type O12N을 비롯하여 Type 1701, *Nocardia* sp., *M. parvicella*, *Thiothrix* sp. 등 총 11 종이 분리 동정되었으며 본 폐수처리공정의

슬러지팽화는 낮은 DO 농도에서 기인된 사상성 세균에 의한 생물학적인 팽화로 판단되었다.

사 사

본 연구는 전북지역환경기술개발센터의 기업기술지원사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- APHA, AWWA and WEF (1998). *Standard Method for Examination of Water and Wastewater*. 20th edition, Washington D.C. US.
- Bradley, T. D. and Kharkar, S. (1996). Foam factors: bursting some bubbles in management mythology. *Water Environment & Technology*, **8**(3), pp. 49-53.
- Chudoba, J. (1985). Control of activated sludge Filamentous bulking-VI. Formulation of basic Principle. *Wat. Res.*, **19**, pp. 1017-1022.
- Daigger G. T. and Roper, R. E. (1985). The relationship between SVI and activated sludge settling characteristics. *Journal of WPCF*, **57**, pp. 89.
- Eikelboom, D. H. (1975). Filamentous organisms in activated sludge. *Wat. Res.*, **9**, pp. 365.
- Gaudy, A. and Gaudy, E. (1990). *Microbiology for Environmental Scientists and Engineers*. McGraw-Hill, New York.
- Gray, N. F. (1990). *Activated sludge theory and practice*. Oxford University Press.
- Jenkins, D., Richard, M. G. and Daigger, G. T. (1984). Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming. *Wat. Res. Commission*, South Africa.
- Jonathan, C. P. and Jenkins, D. (1980). Relationship between organic loading, dissolved oxygen concentration and sludge settleability in the completely mixed activated sludge process. University of California, Berkeley, *Journal of WPCF*, **52**(10), pp. 2484-2507.
- Kappeler, J. and Gujer, W. (1994a). Development of a mathematical model for "Aerobic Bulking". *Wat. Res.*, **28**(2), pp. 303-310.
- Kappeler, J. and Gujer, W. (1994b). Influences of wastewater composition and operating conditions on activated sludge bulking and scum formation. *Water Science and Technology*, **30**(11), pp. 181-189.
- McCalf & Eddy Inc. (2004). *Wastewater Engineering : Treatment Disposal, Reuse*, McGraw-Hill Book Co. New York.
- Storm, P. F. and Jenkins, D. (1984). Identification and significance of filamentous microorganisms in activated sludge. *Journal of WPCF*, **56**(5), pp. 449-459.