

Microthrix parvicella에 의한 슬러지 벌킹과 거품문제 해결

강민기 · 김영철[†] · 방성호* · 이진우** · 하준수***

한서대학교 환경공학과 · *한서대학교 생물학과 · **도화종합기술공사 · ***(주) 그린텍 환경

(2006년 1월 5일 접수, 2006년 3월 12일 채택)

Control of Bulking and Foaming Caused by *Microthrix parvicella*

Min-Gi Kang · Youngchul Kim[†] · Seong-Ho Bang* · Jin-Woo Lee** · Jun-Su Ha***

Department of Environmental Engineering, Hanseo University · *Department of Biology, Hanseo University

Dohwa Consulting Engineers Ltd. · *Green Tech Environment Consulting Engineers Co.

ABSTRACT : This study was undertaken to control sludge bulking and foaming problems at the biological nutrient removal processes. A sewage treatment plant(STP) had a severe sludge settling problem usually over 90% in 30 min settled sludge volume and 300 mL/g in SVI and also thick and heavy brown foam in the secondary clarifiers. Identification study shows that causative filament was *Microthrix parvicella* which has not been previously reported in Korea. According to the inspection of processes and other related parameters, excessive growth of this particular filament was associated with high SRT caused by lack of proper capacity in sludge treatment line. After providing an extension of the sludge treatment capability, the plant can decrease SRT by wasting more sludge from the processes and also decreasing SS concentration in recycled stream. Subsequently we were able to control growth of *M. parvicella*. The SVI value was reduced to half of those observed during the severe bulking, but also sludge blanket and its concentration in the clarifier became compact and dense. However, decrease in population of *M. parvicella* caused increase of total phosphorus concentration in the effluent.

Key Words : Bulking, Foaming, *Microthrix parvicella*, Sludge Blanket

요약 : 본 연구는 고도처리시설에서 발생하는 벌킹과 거품문제를 해결하기 위하여 착수하였다. 현장조사결과 SV₃₀값은 90 %, SVI 값은 300 mL/g 이상을 보여 심각한 벌킹문제와 함께 거품문제를 겪고 있었다. 하수처리장에서 벌킹과 거품문제를 야기하는 사상체를 형태적 특성과 염색반응을 통하여 조사한 결과 그 동안 우리나라에서 보고 된 적이 없는 *Microthrix parvicella*와 type 0092로 동정되었고 슬러지내 사상체의 밀도로 볼 때 *M. parvicella*가 벌킹과 거품의 원인 사상체이었다. 문제해결을 위해 연구대상 하수처리장의 공정과 관련 인자를 면밀히 조사한 결과 슬러지 처리시설의 용량과 성능에 문제가 있는 것으로 나타났다. 탈수용량의 부족으로 인해 운전 SRT를 높게 가져갈 수밖에 없는 상황이었으며 특히 낮은 슬러지 회수율은 다량의 원인 사상체를 재순환시켜 공정내에 축적 증식시켜 문제를 더욱 악화시키는 것으로 밝혀졌다. 탈수기 용량을 확충하고 성능을 개선시킨 결과 운전 SRT를 크게 감소시킬 수 있었으며, 그 결과 SVI 값은 이전의 절반 내외로 크게 줄어 침전성이 크게 향상되었다. 아울러 벌킹제어결과 2차 침전지에서 슬러지 불량킷 깊이도 안정되었고 그 농도도 크게 증가하였다. 그러나 *M. parvicella*의 증식완화는 처리수의 인 농도 상승을 가져왔다.

주제어 : 벌킹, 거품, *Microthrix parvicella*, 슬러지 불량킷

1. 서 론

2차 침전지의 운전목표는 침전지로 유입된 대부분의 슬러지를 바닥으로 침전 농축시켜 반송이나 폐기하여 침전지를 떠나는 유출수의 슬러지 즉 SS 농도가 최소가 되도록 하는 것이다. 이러한 2차 침전지에서 심각한 슬러지 벌킹(bulking)이나 거품(foaming)은 슬러지의 고·액 분리에 부정적인 영향을 주게 되어 2차 침전지에서 처리수와 분리를 어렵게 만든다. 슬러지 벌킹은 사상성 미생물(filamentous microorganisms)의 과도한 증식에 의해 주로 발생되나, 슬러지 벌킹이 반드시

침전성능 저하로 연결되지는 않으며 적정 수준의 사상체는 플러의 강도를 증가시켜주므로 오히려 침전성능을 향상시켜주는 작용을 한다.¹⁾

그러나 심각한 수준의 슬러지 벌킹 문제가 발생할 때에는 침전지에 유입된 MLSS가 반송을 위한 적절한 농도로 농축이 이루어지지 않기 때문에 침전지에서 슬러지 축적량(슬러지 불량킷 깊이의 증가)이 늘어나게 된다. 따라서 침전지 수 표면과 슬러지 불량킷 사이의 공간(깊이)이 줄어들게 되므로 결국 슬러지 입자의 개별 또는 응결침강이 제한을 받게 되어 침전 처리수의 SS 농도가 증가하여 전체적인 처리성능을 저하시키게 된다. 특히 슬러지 벌킹 문제가 발생되고 있는 합류식 하수관거 시스템의 도시 하수처리장에서는 강우시 발생하는 수리학적 과부하로 인해 2차 침전지에서 증가된 슬러지 축적량과 수평 유입 유속에 의해 침전 슬러지의 세굴 가능

[†] Corresponding author
E-mail: ykim@hanseo.ac.kr
Tel: 041-660-1432

Fax: 041-660-1119

성이 높아지게 되며, 심지어는 평상시 유량이 증가할 때 대량의 슬러지가 유실되는 등과 같이 2차 침전지 성능에 치명적인 영향을 받게 된다.²⁾

슬러지 벌킹을 야기하는 사상성 미생물(filamentous micro-organism)은 원인에 따라 매우 다양하다. 사상성 미생물의 증식원인은 크게 기질농도, 황화물의 농도, 영양소 결핍, 낮은 DO, 낮은 F/M 비, 낮은 pH, 높은 SRT 등 매우 다양하며 이러한 원인에 따라 20~30 종 이상의 사상체가 증식하는 것으로 알려져 있다.³⁾ 미국의 조사에 따르면 15가지 정도의 사상체가 벌킹의 원인이 되는 것으로 보고하고 있다.⁴⁾

거품(foaming)은 전 세계적으로 많은 하·폐수처리장에서 갖고 있는 공통의 문제로서 최근 미국의 하·폐수처리장 가운데 2/3가 한 두 번은 이 문제를 겪은 것으로 조사되었다.⁵⁾ 문헌에 따르면 남아프리카 공화국에서는 하·폐수처리장의 40%⁶⁾ 호주에서는 92%,⁷⁾ 프랑스에서는 6,000개 활성슬러지 처리장 가운데 20%가 거품의 영향이 발생되었다고 한다.⁸⁾ 거품에 의해 발생하는 문제로는 2차 침전지 처리수와 함께 유출되어 SS와 BOD 증가의 원인이 될 수 있으며, 여름철 냄새문제 야기 가능성, 그리고 원인 미생물에 의한 작업자의 안전 및 감염 가능성 등으로 구분 할 수 있다. 거품문제를 야기하는 대표적인 사상성 미생물은 *Nocardia amarae*, *Nostocoida limicola*, type 0041, *Microthrix parvicella*이다.⁹⁾ 이들 미생물은 계면활성제를 생성하는 능력을 가지고 있다. 특히 *Nocardia*와 *Microthrix*는 거품문제뿐 만 아니라 동시에 벌킹문제도 야기하는 미생물로 알려져 있다.^{5,10)} 거품을 야기하는 대부분의 사상체는 증식속도가 매우 느리므로 긴 SRT 운전 조건에서 증식하는 것이 특징이다.^{11,12)}

정부는 2005부터 팔당지역 및 4대강 수계의 하수처리장

방류수 수질기준이 크게 강화됨에 따라 오는 2015년까지 고도처리시설 181개소를 확충기로 했다.¹³⁾ 고도처리공정에서는 질산화 미생물의 확보를 위해서 슬러지 체류시간(SRT)이 기존의 표준 활성 슬러지공정에 비해 2배 이상 높인데 그 이유는 질산화 미생물의 증식속도가 일반 미생물에 비해 느리기 때문이다. 따라서 고도처리에서는 대부분의 기존 2차 처리공정에 비해 운전 SRT가 길게 설계·유지되므로, 용존산소와 같은 다른 영양요소를 배제하더라도 기존 활성슬러지 공정에서는 증식속도가 매우 낮아 잘 등장하지 않았던 사상성 미생물의 출현 가능성이 예견되고 있다.

본 연구는 고도처리공정이 적용된 도시 하수처리장의 2차 침전지에서 발생되고 있는 침전성 문제를 해결하는 과정에서 시작되었다. 아직까지는 국내에서 자세히 조사·보고된 사례는 거의 없지만 고도처리공정이 건설되어 본격적으로 운영되는 과정에서 이러한 생물학적인 벌킹과 거품과 관련된 운전 문제가 발생될 것으로 사료되어, 관련된 문제의 원인과 해소 과정에 관련된 영향요소들을 중심으로 연구를 수행하였다.

2. 연구방법

2.1. 연구대상 하수처리장

A 하수처리장의 일일 처리용량은 149,000톤으로 Fig. 1에 제시된 것처럼 변형된 A2O 공정계열의 고도처리시설로서 설계·운영되었으나, 2차 침전지에서 유출되는 높은 SS에 의한 수질문제가 지속적으로 발생되고 있어 관련된 원인분석이 수행되었다. 조사는 2005년 3월 11일부터 6월 15일까지 약 4개월 동안 실시되었고, 조사 빈도는 사전 진단조사 2회를 포함하여 매주 방문조사(총 12회)를 실시하였다.

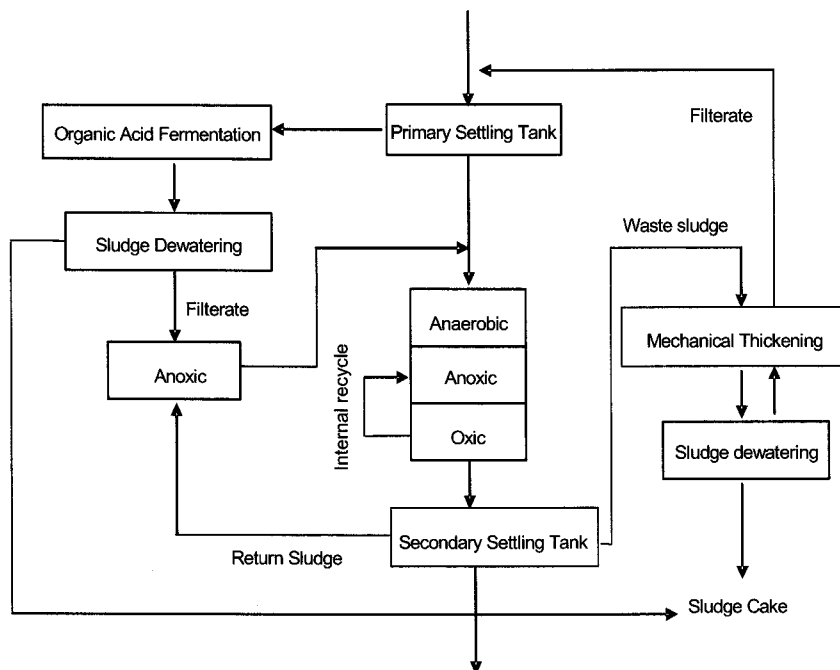


Fig. 1. Municipal wastewater treatment plant: process diagram.

2.2. 방법 및 내용

슬러지의 일반적인 침전성을 평가하기 위하여 1 L 실린더에서 30분 침전 후의 침전지 슬러지 부피(SV₃₀)와 30분 침전 후 1 g의 슬러지가 차지하는 부피(mL), 즉 SVI를 측정하였다.

SVI와 같은 일반 침전 특성인자와 함께 슬러지 침전성에 가장 큰 영향을 미칠 수 있는 총 사상성 미생물의 길이(TFL, total filament length)를 측정하였다.¹⁴⁾ 길이는 광학현미경과 디지털 카메라 이미지 분석을 통하여 조사하였다. 이미지 분석(×400)은 동일한 시료에 대해 10개 이상의 fields를 대상으로 Image Analyzer(i-solution, Korea) 프로그램에 의해 실시되었다.

또한, 벌킹과 거품에 관련된 생물학적 특성 고찰을 위해 생물반응조의 MLSS와 2차 침전지 수표면에서 채취한 거품을 현미경 관찰과 염색반응을 수행하였다. 미생물의 길이, 두께, 형상, 가지여부, 격벽 등과 같은 형태학적 특징을 구분하고 Gram, Nessler 등의 염색반응을 통하여 사상성 미생물의 종을 고찰하였다.¹⁵⁾

그리고 2차 침전지에서 슬러지 벌킹이 농축성능에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 슬러지 블랑킷 깊이와 농도를 측정하였다. 슬러지 블랑킷은 튜브형 슬러지 코어 채취기(integrated sludge core sampler)를 사용하였는데,¹⁶⁾ 슬러지 깊이 측정과 농도 측정을 위한 채수 지점은 장방향 침전지의 길이방향으로 5 m 간격으로 12개 지점에서 실시되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 침전문제 진단결과

Table 1은 연구 착수 초기에 측정한 슬러지 침전 특성 인자를 보여 주고 있는데, SV₃₀ 값은 84~95 %, SVI 값은 300 mL/g를 보여 심각한 벌킹 현상이 관측되었다. 불량한 침전성과 관련된 농축 효율 저하로 인하여, 2차 침전지의 평균 슬러지 블랑킷 깊이(SBD, sludge blanket depth)는 침전지 유효 수심(H)의 50% 수준까지 상승하여 정상적인 침전지 운전이 어려운 상황이었다. 또한, 생물반응조와 2차 침전지에서는 다량의 거품을 포함한 스킴이 발생되고 있었으며, 특히 침전지에서는 유효 침전부 전체를 덮을 만큼 넓게 발생되었다. 침전지 거품의 외관을 관찰한 결과 진한 갈색을 띠고 점성이 강하고 두터우며, 그 농도가 약 4% 정도로 매우 높았다.

Fig. 2는 2005년 4월7일 관측된 MLSS(a)와 거품(b)의 현미경(400배) 사진을 보여 주고 있는데, 슬러지 벌킹과 거품의

Table 1. Evaluation of the sludge settling characteristics

Date	MLSS (g/L)	SV ₃₀ (mL/L)	SVI (mL/g)	SBD (m)	SBD/H (%)	SBSS (g/L)
March 11	2.78	840(84%)	302	1.71	43	5.75
April 7	3.18	950(95%)	299	1.94	49	5.05
April 13	3.02	900(90%)	298	1.90	48	5.55
April 20	2.48	920(92%)	387	1.96	49	6.21

* H = 4.0 m, SBSS : sludge blanket suspended solid concentration



(a)



(b)

Fig. 2. (a) MLSS, (b) Foam.

Table 2. Total Filament length(TFL)

Date	Filament length(μm/gram)	
	MLSS	Foam
April 7	2.0×10 ⁷	4.0×10 ⁸
April 13	3.0×10 ⁷	7.0×10 ⁸
April 20	2.0×10 ⁷	8.0×10 ⁸

원인이 동일한 사상체에 관련된 것을 알 수 있다. 동일한 슬러지와 거품시료를 대상으로 1개월(4월) 동안에 대한 TFL을 측정한 결과(Table 2)에 따르면 2차 침전지 거품에서 MLSS에 비해 약 50배 이상의 많은 사상체가 관측되었다.

3.2. 원인 미생물의 동정

A 하수처리장에서 슬러지 벌킹과 거품문제를 야기하는 사상체를 USEPA와 Eikelboom 등에 의한 사상균의 분류학적 기준에 따라 형태적 특징과 염색반응을 통하여 조사한 결과 *Microthrix parvicella*와 type 0092로 동정되었고(Table 3), 사상체의 밀도로 볼 때 이 미생물들이 벌킹과 거품의 주원인 사상체인 것으로 추정할 수 있었다.

Fig. 3은 본 연구 대상 처리장의 슬러지와 거품에서 관측된 *Microthrix parvicella*와 type 0092의 Gram과 Neisser staining 결과를 보여 주고 있으며, Fig. 4는 *Microthrix parvicella*를 전자현미경을 이용해 촬영한 모습이다.

Table 3. Identification of the filamentous microorganism

<i>Microthrix parvicella</i>	type 0092
• Gram +, Neisser -	• Gram -, Neisser +
• Presence of PHB granules	• No septa/sheath
• Irregularly and smoothly curved like Spaghetti	• 0.8um in dia, 10~60um in length
• 0.6-0.8 μm in dia., 100-400 μm in length	• Short, straight
• Present inside floc or independent	• Usually observed inside the floc
• No septa/sheath, No branching/motility	• No branching and motility

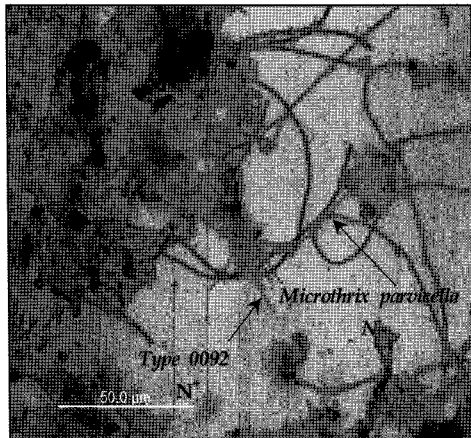
3.3. *Microthrix parvicella*의 증식요인

Microthrix parvicella 증식요인을 살펴보면 증식속도가 매우 낮아 SRT가 10일 이상으로 유지될 경우 증식하며, long chain 지방산을 기질로 이용하고 8℃ 정도의 낮은 수온에서도 증식할 수 있으며 수온이 35℃ 이상이 되면 증식이 중단된다.¹⁷⁾ *M. parvicella*는 혐기, 무산소, 호기조건에 관계없이 floc-former 미생물의 강력한 경쟁자라는 점에서는 이의가 없다. 어떠한 형태의 선별기(selector)도 확실한 제어에 소용이 없었다고 보고하고 있으며,¹⁸⁾ Wanner(1994)는 *M. parvicella*를 모든 형태의 반응조에서 증식 가능한 미생물로 지칭

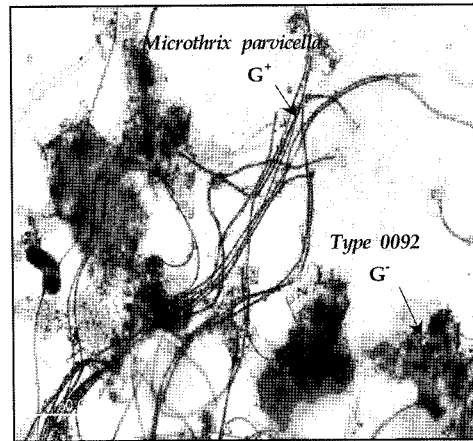
하였다.

*M. parvicella*에 의한 침전문제는 프랑스, 이탈리아 등 유럽 국가와 남아프리카의 하수처리장에서 우세한 사상체⁸⁾로 우리나라 하수처리장에서 보고된 적이 없다. 연구대상 하수처리장에서 발생된 문제해결을 위해 반류수를 비롯한 전체공정을 면밀히 조사한 결과, 슬러지 탈수 처리공정에서 설계 기준과 달리 탈수기의 성능과 탈수효율(탈수 cake 평균함수율 82%) 등에 관련된 영향이 주요인으로 분석되어 탈수용량 증설을 1차적인 개선방안으로 적용하였다. 이러한 탈수용량의 부족은 슬러지 처리 공정 반류수의 SS 부하를 증대시켜 운전 SRT를 높게 가져갈 수밖에 없는 상황이었으며, 특히 낮은 고형물 회수율(성능)은 Fig. 5에 ①, ②, ③으로 나타난 것처럼 다량의 원인 사상체를 재순환시켜 공정 내에 축적 증식시켜 문제를 더욱 악화시키는 것으로 밝혀졌다.

한편, 탈수기 증설이전의 탈수용량(930 m³/일)에 대한 운전 SRT는 약 35일(2005년 3월11일)로 산출되었는데, 탈수용량을 일일 약 2,000 m³으로 확충한 결과 운전 SRT는 Fig. 6에 제시한 바와 같이 5월 이후 약 12일로 감소되었다. 또한, 탈수용량의 증가는 처리공정 전단으로 재순환되는 반류수의 SS 농도도 감소시켰다(Table 4).



(a) Gram staining



(b) Neisser staining

Fig. 3. Results of staining reactions of *Microthrix parvicella* and Type 0092.(500× transmitted light).

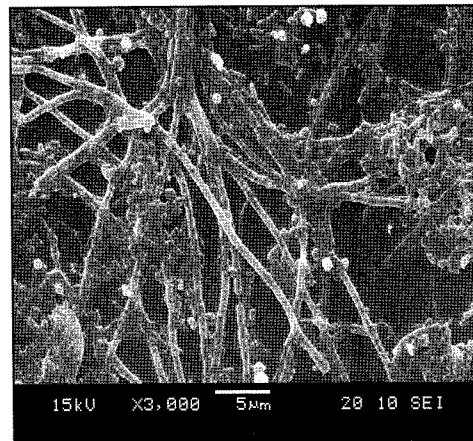
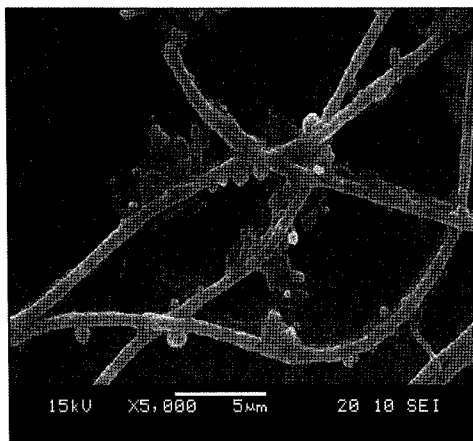


Fig. 4. Scanning electron microscopic photos.

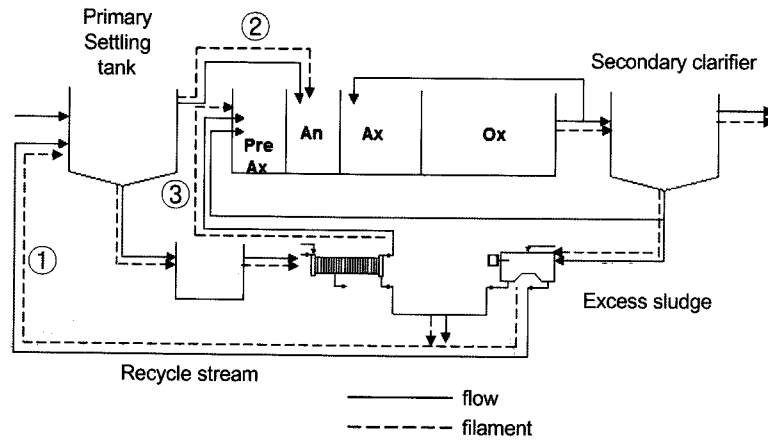


Fig. 5. Pathway of the *Microthrix parvicella* in the processes.

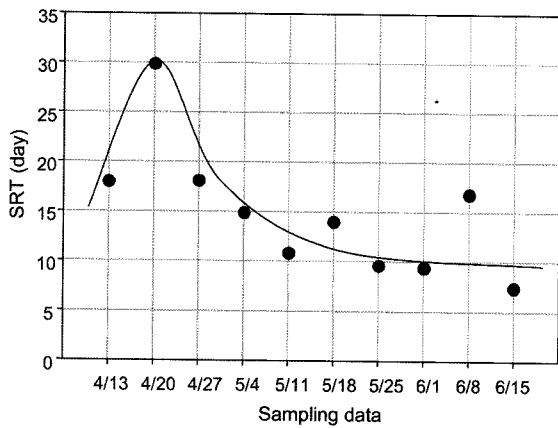


Fig. 6. Decrease of the sludge residence time.

Table 4. SS concentration recycled from sludge treatment facilities to the head of processes

Date	Waste sludge		Primary sludge
	Centrate(mg/L)	Filtrate(mg/L)	Filtrate(mg/L)
April 13	1,420	980	-
April 20	1,000	-	-
April 27	740	4,340	2,400
May 4	580	140	9,950
May 11	200	160	1,000
May 18	-	-	-
May 25	980	150	1,900
June 1	920	420	750
June 8	-	250	-
June 15	1,120	242	150

* Belt press : out of service on May 18 and June 8, 2005

** Centrate; Separated liquid from the centrifugal dehydrator Filtrate; Separated liquid from the belt press

3.4. 침전성 변화

Fig. 7은 연구기간동안 SV₃₀과 SVI값의 변화추이를 보여주고 있다. 사상체가 크게 번성했던 5월초까지 900 mL 이상이었던 SV₃₀이 탈수용량 증대를 통해 운전 SRT가 조절되기

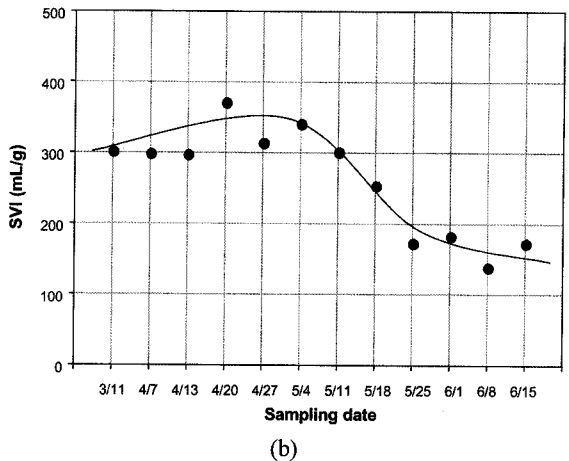
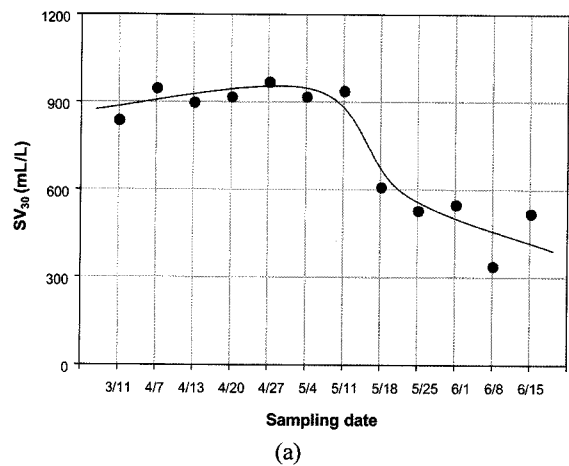


Fig. 7. Changes of the SV₃₀ and SVI values during the period of study.

시작한 후부터 큰 폭으로 감소하여 500 mL 내외를 보였다. SVI 값도 300 mL/g 이상을 보였다가 점진적으로 감소하면서 6월15일 경에는 173 mL/g로 침전성이 크게 향상되었다.

연구기간동안 1 g의 MLSS에 함유된 TFL의 변화는 Fig. 8과 같다. 5월 초순 이후부터 그 길이가 감소하여 *M. parvicella*의 증식이 완화되었고 이것이 슬러지 침전성 향상의 실질적 원인으로 작용하였음을 반증해 주고 있다.

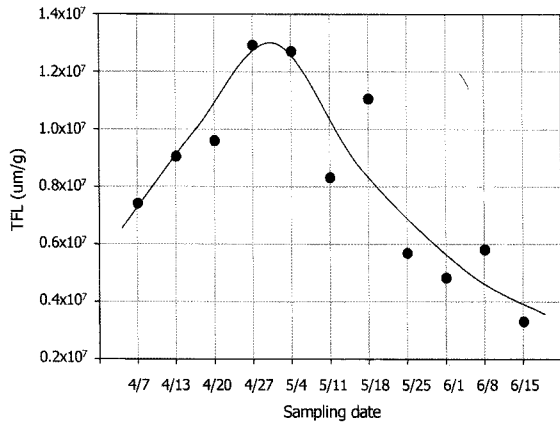


Fig. 8. TFL changes in MLSS during the period of study.

3.5. 침전지 농축성능

슬러지의 침전특성은 1 L 실린더를 이용한 SV 측정값을 활용하였는데, 30분 침전 후에 1 L의 실린더의 슬러지 부피 즉 SV₃₀ 또는 SVI 값이 크면 2차 침전지에서 하부에 형성되는 sludge blanket depth(SBD)가 높게 나타나고 작으면 그 반대로 나타난다.¹⁹⁾ 따라서 슬러지 벌킹의 변화는 2차 침전지에서 SBD에 직접적으로 영향을 미치게 된다.

Fig. 9와 Fig. 10에는 2차 침전지에서 측정된 평균 SBD와 평균 SBSS(슬러지 부유성 고형물 농도; sludge blanket sus-

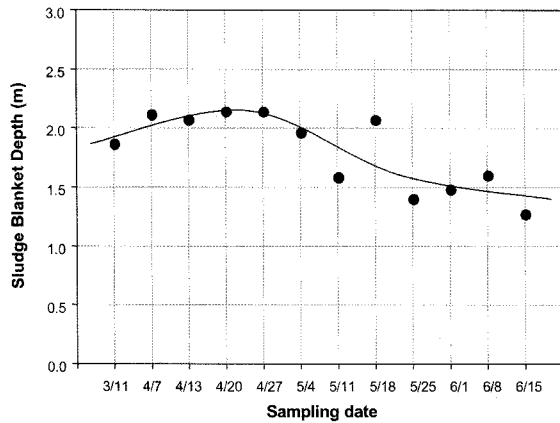


Fig. 9. Changes of the average SBD in clarifiers.

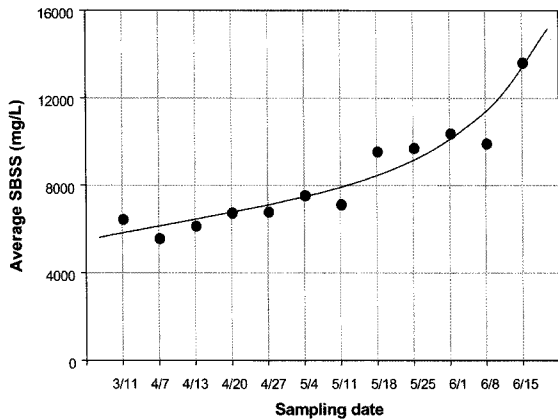


Fig. 10. Changes of the average SBSS concentration.

ended solid)농도 값의 변화를 보여주고 있다.

Fig. 9와 10에 따르면 슬러지 벌킹문제의 해결은 결국 2차 침전지에서 농축기능의 향상을 가져왔다. 평균 SBD 값은 2.0 m 수준에서 1.5 m내외로 줄어들었고 반송 슬러지 농도에 직접적으로 영향을 미치는 SBSS 농도는 5,000~8,000 mg/L에서 10,000 mg/L 이상으로 증가하였다. 슬러지 벌킹의 농축은 낮은 SBD를 유지토록 하여 수리학적 변동에 안정된 침전지 운전이 가능하도록 하였다.

3.6. 처리성능에 미치는 영향

문헌에 따르면 다른 사상체와는 달리 *M. parvicella*의 독특한 증식특성으로 인하여 최상의 제어방법은 없다고 한다.¹⁸⁾ 본 연구에서처럼 단순히 SRT를 감축하여 *M. parvicella*의 제어에 성공한 사례는 운이 좋은 경우에 해당된다.

*M. parvicella*의 제어가 다른 수질인자의 처리성능에 미치는 영향도 함께 검토하였는데, Fig. 11은 *M. parvicella* 제어 전후의 평균 COD, TN, TP 농도를 보여 주고 있다. 그림에 따르면 개선 전후의 COD 값은 거의 차이가 없고 마찬가지로 TN도 수온상승요인을 고려하면 성능에 미친 영향은 매우 적은 것으로 판단된다. 그러나 탈수 용량 개선에 따른 운전 SRT의 감소로 *M. parvicella*의 제어 효과가 발생된 이후 유출수의 TP 농도는 큰 폭의 증가를 보이고 있는데 이것은 비록 일반 PAO와는 다소 다른 유형의 인 제거 기작으로 추정되고는 있지만 *M. parvicella*의 탁월한 인 축적 능력과 관련이 있다.¹⁰⁾ 따라서 비록 *M. parvicella*는 일반 2차 처리공정에서 보다 고도처리시설에서 문제가 되는 사상체로서 벌킹과 거품문제를 야기하지만 한편으로는 인 제거에 기여한다는 것을 기존의 문헌자료 뿐 만 아니라 현재의 현장 연구결과에서도 실증되고 있다.

국내 하수처리장의 처리수질 고도화를 위한 개선이 매우 활발하게 진행되고 있는데 대부분의 경우 동계 저온에 의한 질산화를 기준으로 최소 SRT를 산정하고 있다. 따라서 생물학적 영양소제거 공정의 경우 계절별 온도변화가 큰 국내 기후 특성을 고려한 운전이 수행되지 않는 경우 연간 운전 SRT는 10일 이상으로 유지되고 있는 것이 일반적이다. 또한 본 연구 대상 처리장과 같이 증력식 농축조를 비롯한 슬러지 처리공정의 부적절한 가동으로 인해 수처리 공정으로 재반송되는 슬러지를 고려하는 경우 실질 SRT는 더욱 증가될 수 있어 긴 SRT로 인한 *M. parvicella*의 성장과 flocculation의 경쟁은 필연적인 것으로 사료 된다. 특히, 하계의 유입수질 악화로 인한 낮은 F/M비가 형성되는 경우 *M. parvicella*에 의한 영향은 더욱 명백할 것으로 판단된다. 이러한 측면에서 사상균체인 *M. parvicella*가 공정내에 성장 가능하고 정상적인 인 축적 metabolism을 수행하는 경우, kinetics 측면에서 일반인 축적 미생물의 최대비성장속도(μ_{max})나 반포화상수(K_s)에 비해 낮은 사상균체의 특성상 높은 기질 친화도로 인해 낮은 F/M비 조건에서도 기질 uptake에 의한 인 제거 기작이 충분히 발휘 될 수 있어 그 동안 의문시 되고 있던 국내의 낮은 RBD 기질 수준에서도 인 제거 현상이 발휘되고 있는 것에

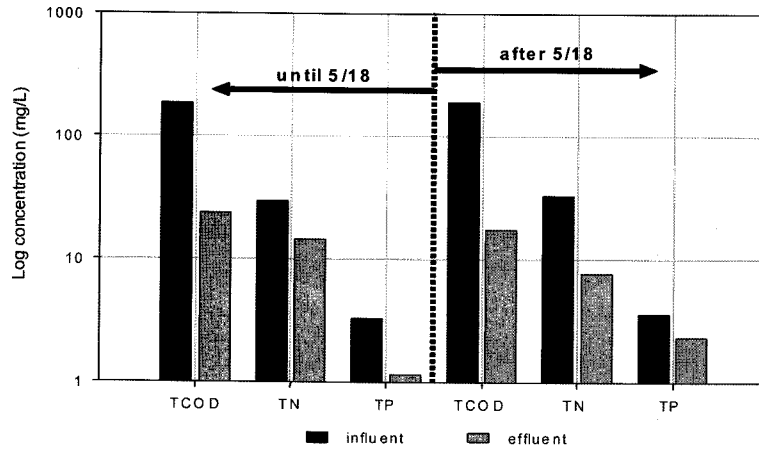


Fig. 11. Effect of the Microthrix bulking on the overall performance.

대한 설명이 가능한 것으로 사료된다. 또 다른 측면에서 *M. parvicella*의 성장 기질이 SCVFA(short chain volatile fatty acid)가 아닌 long chain인 것을 고려¹⁷⁾하면 영양소제거에 필요한 기질 공급을 위한 발효공정의 활용에 대한 재검토가 필요할 것으로 추정된다.

4. 결론

본 연구는 변형된 A2O계열 고도처리시설에서 발생하는 벌킹과 거품문제에 관한 것으로, 연구초기에 대상 처리장의 SV₃₀ 값은 90%, SVI 값은 300 mL/g 이상을 보였고 생물 반응조와 2차 침전지에 심각한 거품이 발생하였다. 연구대상 하수처리장 채취한 슬러지와 거품에 대해 사상체의 형태적 특성과 염색반응을 통하여 조사한 결과 그 동안 우리나라에서 보고된 적이 없는 *M. parvicella*와 type 0092로 동정되었고 슬러지내 사상체의 밀도로 볼 때 *M. parvicella*가 벌킹과 거품의 원인 사상체로 판단되었다.

문제해결을 위해 연구대상 하수처리장의 공정과 관련된 인자(수질 및 운전)를 조사한 결과 슬러지 처리시설의 용량과 성능에 문제가 있는 것으로 나타났다. 탈수용량의 부족은 운전 SRT를 높게 가져갈 수밖에 없는 상황을 유발하게 되었고, 특히 낮은 SS 회수율은 다량의 원인 사상체를 반류수의 형태로 재순환시켜 공정내에 축적 증식시켜 문제를 더욱 악화시키는 것으로 추정되었다.

탈수기 용량을 확충하고 성능을 개선하여 운전 SRT가 크게 감소된 결과, 슬러지의 SV₃₀과 SVI 값, 그리고 사상체의 개체수를 나타내는 TFL 값이 크게 감소하여 슬러지 침전성이 크게 향상되었다. 이러한 사상체의 제어 효과로 인해, 2차 침전지에서 슬러지 불량징 깊이도 낮아졌고 그 농도도 크게 증가하였으며, 거품 발생량도 크게 감소하여 안정적인 침전지 운전이 가능하였다.

그러나 급격한 *M. parvicella*의 증식완화는 처리수의 인 농도가 상승되는 것으로 나타나 *M. parvicella*가 거품과 벌킹의 원인 사상체이기는 하나 인제거 기능을 수행하는 양면성이 있는 것을 알 수 있다.

참고문헌

1. Pipes, W. O., "Bulking, deflocculation and pin-point floc," *Journal WPCF.*, **51**, 62(1979).
2. Kim, Y. and Pipes, W. O., "Solid routing in an activated sludge process during hydraulic overloads," *Water Sci. Technol.*, **34**(3), 9~16(1996).
3. Richard, M. G., Jenkins, D., and Hao, O., "Growth kinetics of Sphaerotilus species and their significance in activated sludge bulking," *Journal WPCF.*, **57**, 68~71 (1985a).
4. Richard, M. G., Shimizu, G. P., and Jenkins, D., "The growth physiology of the filamentous organism type 021N and its significance to activated sludge bulking," *Journal WPCF.*, **57**, 1152~1162(1985b).
5. Pitt, P. and Jenkins, D., "Causes and control of *Nocardia* in activated sludge," *Journal WPCF.*, **62**, 143~150(1990).
6. Blackbeard, J. R., Elkna, G. A., and Marais, G. R., "A survey of filamentous bulking and foaming in activated sludge plants in South Africa," *Water Pollut. Control*, **1**, 90~100(1986).
7. Blackall, L. L., Harbers, A. E., Greenfield, P. F., and Hayward, A. C., "Actinomycetes scum problems in Australian activated sludge plants," *Proceedings of the international conference on water and wastewater microbiology*, New port beach, CA, Feb. 8-11, Vol.2(1998).
8. Pujol, R., Duchene, P., Schetrite, S., and Canler, J. P., "Biological foams in activated sludge plants: characterization and situation," *Water Res.*, **25**, 1399~1404(1991).
9. Goddard, A. J. and Foster, C. F., "A further examination into the problem of stable foams in activated sludge plants," *Microbios.*, **50**, 29~42(1987).
10. Andreasen, K., Nielsen, P. K., "Growth of *Microthrix parvicella* in nutrient removal activated sludge plants: stu-

- dies of in-situ physiology," *Water Res.*, **34**(5), 1559~1569(2000).
11. Pipes, W. O., "Actinomycetes scum formation in activated sludge processes," *Journal WPCF.*, **5**, 628(1978).
 12. Wanner, J., "Activated sludge bulking and foaming control," Technomic Publishing Co., Lancaster(1994).
 13. 환경부, 하수도통계, 환경부, 서울(2004).
 14. Sezgin, M., Jenkins, D., and Parker, D. S., "A unified theory of filamentous activated sludge bulking," *Journal WPCF.*, **50**, 362(1978).
 15. EPA manual, "The causes and control of activated sludge bulking and foaming," Cincinnati OH(1987).
 16. Kim, Y. and Pipes, W. O., "Activated sludge processes: estimation of sludge blanket suspended solid concentration," *Water Sci. Technol.*, **35**(8), 127~135(1997).
 17. Chambers, B. and Tomlinson, E. J., "Bulking of activated sludge," Ellis Horwood Limited, New York(1982).
 18. Eikelboom, D. H., "The *Microthrix parvicella* puzzle," *Proceedings of IAWQ 1st international specialized conference on microorganisms in activated sludge and biofilm process*, 267~275, Paris(1993).
 19. Kim, Y. and Giokas D. L., "A simple empirical model for activated sludge thickening in secondary clarifiers," *Water Res.*, **36**(13), 3245~3252(2002).