

## 유가공 폐수의 활성슬러지 처리에서 벌킹 제어용 염소가 미생물의 유기물 분해 활성에 미치는 영향

남세용<sup>†</sup> · 최진택<sup>\*</sup>

한경대학교 환경공학과, \*서울우유협동조합

### Effect of Chlorination for Bulking Control on the Organic Removal Activity of Activated Sludge Treating Dairy Wastewater

Se Yong Nam<sup>†</sup> · Jin Taek Choi<sup>\*</sup>

Department of Environmental Engineering, Hankyong National University

\*Seoul Dairy Cooperative

(Received December 10, 2005/Accepted January 10, 2005)

#### ABSTRACT

Chlorination inhibition on the organic removal activity of activated sludge microorganism was investigated in this study. It is well known that chlorination improves the settleability of filamentous bulking sludge through the selective impediment of filamentous microorganisms. However, it is based on the declination of effluent water quality after actual chlorination in dairy wastewater treatment plant. In case of the activated sludge which was exposed in the suggested concentration of chlorine 7.5 mgCl<sub>2</sub>/gVSS/day for the filamentous bulking control, decrease of organic uptake rate of 4.9~24.0%, and denitrification rate of 24.8~30.3% were shown in comparison to the control group which was not reacted with chlorine. As a result of comparing floc size of activated sludge microorganism, the average of floc diameter in the chlorine exposed group was 150 μm, which displays 25% decrease compared with the control group.

**Keywords:** chlorination, bulking control, filamentous microorganisms, activated sludge, organic removal activity

#### I. 서 론

활성슬러지 공정(activated sludge process)은 폐수처리의 대표적인 생물학적 공정으로 안정적인 유기물 제거능력을 바탕으로 가장 널리 사용되고 있다.<sup>1)</sup> 그러나 이 공정에서 가장 큰 문제점 중의 하나는 사상균(filamentous bacteria)의 과다 성장으로 인한 슬러지 벌킹(bulking) 현상을 들 수 있으며,<sup>2)</sup> 이는 슬러지 부피지수(SVI ; sludge volume index)가 150 ml/g을 초과<sup>3,4)</sup>하거나 슬러지 균집으로부터 돌출된 사상균의 길이가 10 km/g을 초과<sup>5)</sup>하는 경우를 말하며 일시적으로 흔히 발생하는 문제이기도하다.

그러나 벌킹 현상이 발생되면 침전조 하부로의 미생

물 플록(floc)의 농축 및 침전에 저해를 받아 상등수의 경계면 상승으로 인한 공정의 처리용량 감소가 초래되며 슬러지의 월류로 이어질 수 있고, 미생물의 감소와 그로 인한 수질악화 및 처리 공정의 실패로 이어질 수 있다.

현재 슬러지 벌킹 현상에 대한 많은 제어방법이 소개되어지고 있으며 그 중 플록으로부터 확장하는 사상균을 강산화제인 과산화수소나 염소를 주입하여 선택 살균함으로써 벌킹 증상을 제거하는 방법과,<sup>6)</sup> 응집제를 사용하여 침전성을 향상시키는 방법,<sup>7)</sup> 그리고 활성슬러지 미생물의 분포 조절을 통해 플록을 형성하는 미생물들의 활성을 사상균보다 증가시켜 벌킹을 제어하는 방법 등이 널리 사용되고 있다. 지금까지 알려진 벌킹의 주요 원인으로서는 처리시설의 특별한 공정, 유입부하, 온도, pH, 용존산도 농도(DO) 등 주위의 환경조건, 혹은 특별한 폐수성분의 존재 또는 어떤 필요성분의 결핍 등에 기인하는 것으로 보고되는 등 여러 가지

<sup>†</sup>Corresponding author : Department of Environmental Engineering, Hankyong National University  
Tel.: 82-31-670-5177, Fax: 82-31-670-5170  
E-mail : namsy@hknu.ac.kr

인자들이 복합적으로 작용<sup>8-10)</sup>하는 것으로 알려져 있다.

염소주입법은 최소의 경비로 신속하게 처리할 수 있는 장점이 있어 현재 다른 방법에 비해 많이 사용되어지고 있다.<sup>11)</sup> 그러나 염소를 주입할 경우 경험 및 기술 부족으로 인하여 사상균뿐만 아니라 플록형성 미생물 까지도 저해를 주어 방류수의 부유물질 농도와 유기물질 농도가 증가하여 수질이 악화됨이 보고<sup>12)</sup>되고 있으나, 미생물 관점에서의 정량적인 평가가 부족한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 슬러지 벌킹 제어용 염소의 사용이 활성슬러지 미생물에 어느 정도 영향을 주는지 미생물 활성도 분석<sup>13)</sup> 지표 중 가장 대표적인 유기물 분해활성에 대한 정량적 검토를 목적으로 하고 있다.

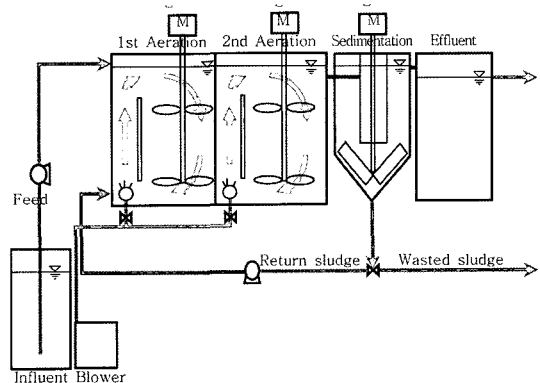
## II. 실험방법

### 1. 실험장치

실험 장치는 Fig. 1과 같은 유효 용량이 약 40 l인 실험실 규모의 반응조를 실험군과 대조군으로 2세트를 제작하여 운전하였다. 원수조는 원수의 온도가 4°C 이하로 유지될 수 있도록 냉장고 내부에 위치하였으며, 1차, 2차 반응조에는 정류판 및 교반용 모터를 설치하였다. 침전조에는 스크레퍼를 부착하였고, 슬러지 반송라인에 peristaltic 펌프를 장착하였다. 슬러지 인발은 전동 밸브와 타이머를 연동하여 주기적으로 인발하였으며, 반응조 내 폐수의 유입은 정량펌프를 사용하였고, 공기의 공급은 송풍기를 이용 및 유량 조절밸브를 부착하여 공기공급량이 조절될 수 있도록 하였다. 처리된 상등수는 수질분석에 사용할 수 있도록 처리수조에 보관되며, 그 이상 발생된 처리수는 배수라인을 통하여 배출되도록 제작하였다. 회분식 실험장치는 80 rpm의 정속교반장치를 갖춘 유효용량 1 l의 원통형 반응조 4조를 운영하였다.

**Table 1.** Characteristics of diluted feed and synthetic wastewater

Item(unit)	Diluted feed	Synthetic wastewater
BOD(mg/l)	1,360	
TCOD(mg/l)	1,730	
SCOD(mg/l)	450	250 as glucose
SS(mg/l)	2,200	
T-N(mg/l)	88	
Ammonia-N(mg/l)		30 as (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>
T-P(mg/l)	45	
Ortho-P(mg/l)		3 as KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>
pH		6.9~7.1



**Fig. 1.** Schematic diagram of experimental set-up.

### 2. 실험방법

실험은 실험군과 대조군으로 구성된 2계열의 반응조를 정상상태 적응기간을 거친 후 90일간의 연속운전을 진행하며 유출수의 처리수질 및 반응조 내 슬러지의 침강성을 중심으로 모니터링하였다. 연속운전 기간은 슬러지의 침강성 변화를 중심으로(Fig. 2), 연속운전 시작 후 약 45일까지의 기간을 정상상태 기간으로, SVI 150 이상 및 미생물상의 현미경 관찰을 통한 사상균의 출현 등을 벌킹 판정의 기준으로 하여 벌킹으로 판정되어진 70일까지의 기간을 벌킹상태 기간으로, 염소의 주입으로 인한 침강성 개선 및 안정화되는 90일까지를 회복상태 기간으로 나누었고, 정상상태의 슬러지와 벌킹상태의 슬러지에 대하여 각각 염소처리제에 대한 접촉전후로 구분하여 반응의 효율을 비교하는 회분식 실험을 병행하여 벌킹제어용 염소처리제 주입에 따른 활성슬러지 미생물의 활성의 변화에 대하여 검토하였다.

벌킹상태의 판정은 SV<sub>30</sub> 측정을 통한 SVI 값과 현미경 관찰을 통한 사상성 미생물 검경을 병행하며 판단하였으며, 벌킹제어용 염소처리제로는 NaOCl을 이용하여 7.5 mgCl<sub>2</sub>/gVSS/day의 강도로 약 36시간 동안 활성슬러지 미생물에 접촉시켰고, 글루코스와 암모니아를 함유한 합성폐수를 준비된 슬러지와 함께 회분식 반응조에 넣고, 반응시간에 따른 유기물질의 거동을 SCOD 농도로 측정하였다. 연속운전에 사용된 유입수와 회분식 실험에 사용된 합성폐수의 성상은 Table 1에 나타난 바와 같다.

분석방법으로는 DO, BOD, TCOD, SCOD, SS, T-N, T-P, SV<sub>30</sub>, SVI, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, Cl<sup>-</sup>, MLSS, MLVSS를 standard method<sup>14)</sup> 및 수질오염 공정시험방법<sup>15)</sup>에 준하여 측정하였으며 그 외에 digital reactor 2500, chloride ion meter 및 광학현미경과 디지털영상장치를 이용하였다.

### III. 결과 및 고찰

90일간의 연속운전은 상온에서 진행되었으며 DO는 1.0~3.0 mg/l의 범위에서 유지되었다. MLSS는 1,480~2,660 mg/l 범위에서 운전되었으며, 이때의 MLVSS는 1,360~2,420 mg/l이었다. 유입수의 TCOD는 1,160~4,480 mg/l, SCOD는 190~2,960 mg/l로 유입되었고, 유출수 SCOD는 12~179 mg/l로 유출되어 연속운전 기간 동안의 유기물 제거율은 대략 79.6~98.0%로 안정적인 제거효율을 나타내었다. 연속운전기간동안의 SV<sub>30</sub> 및 SVI의 측정결과를 Fig. 2에 나타내었다.

#### 1. 활성슬러지의 염소 주입에 따른 활성도 변화

정상상태의 활성슬러지 미생물의 활성도 실험에서 염소 주입 전후의 SCOD 농도변화를 측정하여 유기물 분해의 차이를 각각 6회에 걸친 회분식 실험을 통해 반

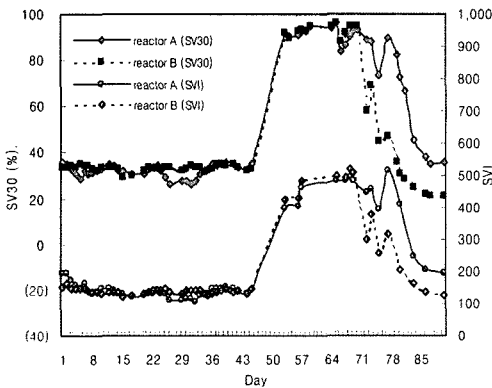


Fig. 2. SVI variations during the experiments.

Table 2. Batch experiments conducted with non-bulking sludge

Run	SCOD <sub>0</sub> (mg/l)	SCOD <sub>removed</sub>				mgSCOD <sub>removed</sub> /gMLVSS			
		t=120	t=180	t=240	t=300	t=120	t=180	t=240	t=300
1	284.0	102.4	125.6			41.0	50.2		
2	285.6	93.6	124.0			37.4	49.6		
3	248.5	31.5	32.0			12.6	12.8		
4	242.4	56.0	84.0	91.2	105.6	22.4	33.6	36.5	42.2
5	240.8	58.4	66.4	88.8	104.8	23.4	26.6	35.5	41.9
6	250.4	25.2	25.6	29.6	31.2	10.1	10.2	11.8	12.5
7	246.4	56.0	58.4			22.4	23.4		
8	247.2	45.6	48.0			18.2	19.2		
9	275.2	13.6	20.8			5.4	8.3		
10	255.2	60.0	63.2	76.8	91.2	24.0	25.3	30.7	36.5
11	240.8	40.0	57.6	68.8	73.6	16.0	23.0	27.5	29.4
12	240.8	9.6	17.6	17.6	18.2	3.8	7.0	7.0	7.3

Note) Run #1~6 : before chlorination.  
Run #7~12 : after chlorination.

을 300분 후의 농도를 살펴본 결과, 염소가 첨가되지 않은 반응조의 농도는 139.4~218.8 mg/l로 감소되었으며, 염소가 주입된 반응조는 190.7~231.1 mg/l로 감소

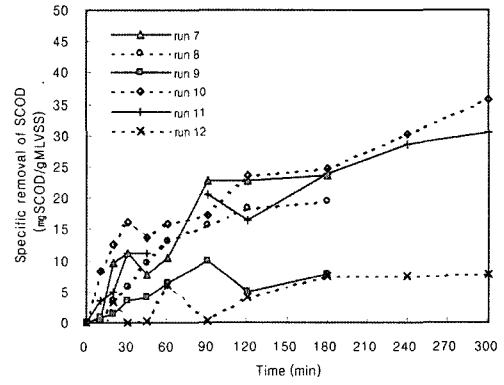
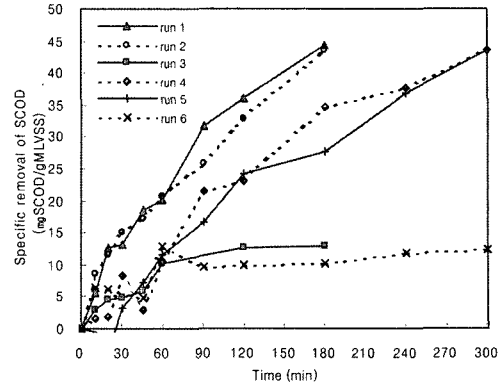


Fig. 3. Specific removal of influent SCOD before (a) and after (b) chlorination with non-bulking sludge.

하였음을 관찰하였다. 이를 단위미생물 당 비제거량으로 표현하면 Fig. 3과 같다. 유기물질의 비제거량은 180분에서 염소 첨가 전에는 10.2~44.2 mg/gMLVSS 까지 나타났으며, 염소 첨가 후에는 7.3~24.8 mg/gMLVSS로 측정되어 염소 첨가 전에 비해 38.3% 감소하였음을 확인하였다. Table 2는 염소 첨가 전후의 초기 유기물 농도와 각 시간대에서의 유기물 제거량 및 단위미생물 당 제거된 유기물량을 나타내었다. 염소 첨가 전 각 시간대의 평균 SCOD의 비제거량은 24.5, 30.5, 27.9, 32.2 mgSCOD/gMLVSS을 나타내어 시간당 9.0 mgSCOD/gMLVSS 제거 되었고, 염소 첨가 후의 동일시간에서의 비제거량은 15.0, 17.7, 21.8, 24.4 mgSCOD/g MLVSS로 시간당 5.9 mgSCOD/gMLVSS가 제거되어 시간당 1g의 MLVSS에 의해 제거된 유기물량이 염소 첨가 전에 비해 대략 66% 수준에 그치는 것으로 조사되었다. 6회에 걸친 회분식 실험을 통해 반응시간 동안 주입된 유기물 제거 효율의 차이를 Fig. 4에 나타냈으며, 각 실험에서 4.9~24.0%까지 염소의 주입 이후 유기물 제거효율이 저하되는 현상을 확인하였다.

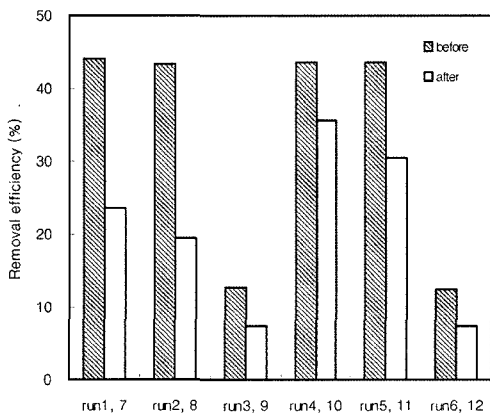


Fig. 4. Difference of organic removal efficiency between before and after chlorination.

## 2. 벌킹슬러지의 염소 주입에 따른 활성도 변화

연속운전 시작 후 40일부터 7일간 유입수의 농도를 대략 3배 정도 높여 공급하여 활성슬러지에 충격부하를 주었으며, 약 45일부터 각 반응조의 SV<sub>30</sub> 값이 상승하여 SVI값이 150이상으로 측정되었으며, 침강성이 급격하게 떨어져 벌킹상태로 판정하였다.

정상상태 기간과 동일한 회분식 실험 방법으로 염소를 주입시킨 후, 주입 전후에 따른 활성슬러지 미생물의 활성변화를 비교하였다. 염소 주입 전후의 SCOD 농도 변화를 측정하여 유기물 분해의 차이를 각각 2회에 걸친 회분식 실험을 통해 살펴본 결과, 반응후의 염소가 첨가되지 않은 반응조의 SCOD농도는 144.7, 188.6 mg/l로 측정되었고, 염소가 첨가된 반응조는 184.5, 202.8 mg/l로 측정되었다. 이를 MLVSS량을 고려한 유기물 비제거량으로 표현하여보면 염소 첨가 전 SCOD 비제거량은 평균 33.3 mg/gMLVSS에서 염소 첨가 후 평균 22.5 mg/gMLVSS로 32.4% 감소하였다 (Fig. 5). Table 3에서는 염소 첨가 전후의 초기 유기물 농도와 각 시간대에서의 유기물 제거량 및 유기물 제거효율 나타내었다. 염소 첨가 전 SCOD 제거량은

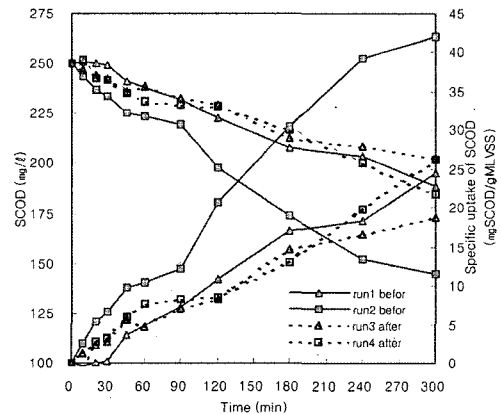


Fig. 5. Specific removal of influent SCOD before and after chlorination with bulking sludge.

Table 3. Batch experiments conducted with bulking sludge

Run	SCOD <sub>0</sub> (mg/l)	SCOD <sub>removed</sub>				Removal efficiency			
		t=120	t=180	t=240	t=300	t=120	t=180	t=240	t=300
1	221.6	24.0	37.6	40.8	54.4	10.8	17.0	18.4	24.5
2	243.2	50.4	74.4	95.2	102.4	20.7	30.6	39.1	42.1
3	226.8	18.8	33.6	37.6	42.8	8.3	14.8	16.6	18.9
4	250.4	19.2	32.8	49.6	65.6	7.7	13.1	19.8	26.2

Note) Run #1, 2 : before chlorination.

Run #3, 4 : after chlorination.

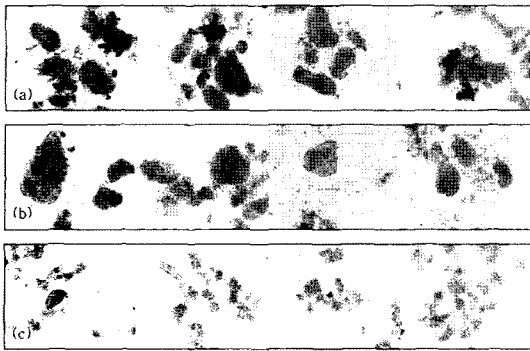


Fig. 6. Microscopic observation of activated sludges at the state of non-bulking (a), bulking (b), and after chlorination (c).

37.2, 56.0, 68.0, 78.4 mg/l이었으며, 염소 첨가 후의 동일시간에서의 값은 19.0, 33.2, 43.6, 54.2 mg/l로 30.9~48.9%의 차이를 나타내고 있으며, 처리효율은 염소 첨가 전 15.8~33.3%가 나타났고, 염소 첨가 후에는 8.0~22.5%를 나타내어 7.8~10.8%의 처리효율의 차이가 발생하였다.

### 3. 활성슬러지 플록 관찰

현미경 검경( $\times 100$ )을 통한 사상성 미생물의 우점정도를 90일간의 연속운전기간을 모니터링 한 결과를 정상상태 기간, 벌킹상태 기간 및 염소를 이용한 침전성의 회복 기간으로 구분하여 Fig. 6에 나타내었다. 정상상태기간의 플록은 직경  $200 \mu\text{m}^{16,17}$  내외의 크고 단단한 플록을 형성하고 있었다.

벌킹상태 기간의 플록은 직경  $200 \mu\text{m}$  내외의 크고 단단한 플록을 형성하고 있었으나, 플록 밖으로 사상성 미생물이 심하게 돌출되어 우점화 되어있음을 확인하였다.

연속운전 70일부터 반응조 B에만 벌킹제어용 염소처리제 NaOCl을 이용하여  $7.5 \text{ mgCl}_2/\text{gVSS}/\text{day}$ 의 강도로 약 36시간 동안 반응시킨 후의 현미경 검경을 통한 사상성 미생물의 우점정도를 관찰한 결과 사상성 미생물이 현저히 줄었음을 확인하였고, 이 기간의 플록은 직경  $150 \mu\text{m}$  내외의 정상 및 벌킹 상태에 비해 작고 빈약한 플록을 형성하고 있음을 확인하였다.

## IV. 결 론

90일간 연속운전하며 유출수의 처리수질 및 반응조 내 슬러지의 침강성을 정상상태 기간, 벌킹상태 기간 및 회복상태 기간으로 나누어 각각의 단계별로 모니터

링 하고, 벌킹제어용 염소처리제 NaOCl을  $7.5 \text{ mgCl}_2/\text{gVSS}/\text{day}$ 의 강도로 주입하여 36시간 동안 접촉 시킨 후 접촉 전후에 따른 활성슬러지 미생물의 활성변화를 유기물제거능을 지표로 정량적으로 비교해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 정상상태의 활성슬러지를 통한 유기물 제거율은 염소 접촉 후 4.9~24.0% 감소하였고, 유기물 비제거량은 13.6~61.3% 감소하였다.

2. 벌킹상태의 활성슬러지를 통한 유기물 제거율은 염소 접촉 후 5.7~15.9% 감소하였고, 유기물 비제거량은 23.1~37.8% 감소하였다.

3. 활성슬러지 플록 관찰 결과, 정상상태 기간과 벌킹상태 기간에서는 플록의 크기가  $200 \mu\text{m}$ 에서, 염소 주입 후 회복상태 기간은  $150 \mu\text{m}$ 으로 25% 작아지는 것으로 나타났다.

이상과 같은 결과는 벌킹제어용 염소 사용에 따른 미생물에 대한 저해와 처리수질에 대한 영향을 예측할 수 있는 지표로 활용 가능할 것으로 기대한다.

## 감사의 글

본 연구는 한경대학교 2004년도 학술연구조성비의 지원에 의한 것임.

## 참고문헌

- Caravelli, A., Giannuzzi, L. and Zaritzky, N. : Effect of chlorine on filamentous microorganisms present in activated sludge as evaluated by respirometry and INT-dehydrogenase activity. *Water Res.*, **38**, 2395-2405, 2004.
- Neethling, J. B., Johnson, K. M. and Jenkins, D. : Using ATP to determine the chlorine resistance of filamentous bacteria associated with activated sludge bulking. *Journal WOCF*, **57**(8), 890, 1985.
- Neethling, J. B., Jenkins, D. and Johnson, K. M. : Chemistry, Microbiology, and modeling of chlorination for activated sludge bulking control. *Journal WPCF*, **57**(8), 882, 1985.
- Sezgin, M., Jenkins, D. and Parker, D. S. : A unified theory of filamentous microorganism in activate sludge. *Journal WPCF*, **50**, 362, 1978.
- Lee, S. E., Koopman, B., Bode, H. and Jenkins, D. : Evaluation of alternative sludge settleability indices. *Water Res.*, **17**, 1421, 1983.
- Smith, R. S. and Purdy, W. C. : The use of chlorine for the correction of sludge bulking in the activated sludge process. *Public Health Ref.*, **51**, 671, 1936.
- Juang, D. F. : Effects of synthetic polymer on the bacteria in activated sludge. *Bioresource Technol-*

- ogy, **5**, 1-10, 2004.
8. 신보균 : 염소주입에 의한 활성슬러지 팽화현상 제어에 미치는 혼합강도의 영향. 석사학위논문, 부산대학교, 1989.
  9. 이장훈, 권혁구, 강병곤, 정준오 : 활성오니공법에서 영양염류 조성비와 공기조절이 팽화발생에 미치는 영향. 한국환경보건학회지, **30**(1), 13, 2004.
  10. 정준오, 권혁구, 이장훈 : 산업폐수의 특성에 따른 출현미생물과 팽화발생의 관계에 관한 연구. 한국환경보건학회지, **29**(5), 2003.
  11. Jenkins, D., Neethling, J. B., Bode, H. and Richard, M. G. : The use of chlorination for control of activated sludge bulking in Bulking of activated sludge : Preventive and remedial measures, B. Chambers, E. J. Tomlinson, Chichester, United Kingdom, 1982.
  12. 이찬원 : INT로 처리한 활성오니의 사상균 총 연장길이 측정예 의한 종균제의 선별 및 팽화현상 제어. 환경연구, **20**, 85-93, 1997.
  13. 남세용, 이상민, 김동욱, 서용찬 : 접촉조 결합형 연속회분식반응조를 이용한 질소제거. 대한환경공학회지, **27**(11), 2-3, 2005.
  14. APHA, WEF & AWWA : Standard methods for the examination of water and wastewater. 19<sup>th</sup> Ed., Washington, D.C., 1995.
  15. 환경부 : 수질오염공정시험방법, 2000.
  16. 정제기, 윤태일, 서형준, 김주영 : 생물학적 폐수처리에 미치는 혼합강도의 영향. 대한환경공학회지, **5**(1), 67-83, 1983.
  17. Mueller, J. A., Morand, J. and Boyle, W. C. : Flocculating techniques. *Applide Microbiologie*, **15**(1), 125-134, 1967.