



Lamellar 이차침전지에서의 침강 특성 파악

Evaluation of Settling Characteristics at Lamellar Secondary Clarifier

이병희

Byong Hi Lee

경기대학교 환경에너지시스템공학과

(2012년 5월24일 접수; 2011년 6월8일 수정; 2012년 6월11일 채택)

Abstract

Where an activated sludge system needs to be converted to biological nutrient removal(BNR) system, the secondary clarifier must handle higher MLSS from bioreactor since nitrification in BNR system that requires higher SRTs than activated sludge system. Either increase the clarifier size or modification of clarifier physical structure is required to cope with MLSS surge. One of recommended structural modification is the insertion of Lamellar within clarifier.

In this study, two clarifiers - one has Lamellar structure inserted and the other does not - were used to compare the effect of Lamellar in solid/liquid separation. Same MLSS was fed to both clarifiers and concentrations of MLSS were varied. With all MLSS concentrations, attachment of MLSS on Lamellar was observed and it was found that detached MLSS caused the higher effluent SS concentrations than that of non-Lamellar clarifier effluent. From these results, Lamellar should not be inserted in clarifier to handle MLSS from BNR processes and the recommendation must be withdrawn.

Key words : clarifier, Lamellar, MLSS attachment

주제어: 침전지, 경사판, MLSS 부착

1. 서론

고형물과 유기물처리를 목적으로 한 기존의 활성슬러지 시스템을 질소 및 인을 제거하는 생물학적 고도처리로 전환하는데 있어서는 기존 생물반응조의 혐기/무산소/호기조로의 전환과 더불어 MLSS(Mixed Liquor Suspended Solids)의 고액분리를 수행하는 이차침전지에 대한 고려가 필요하다. 일반적으로 기존의 활성슬러지 시스템을 생물학적 고도처리로 전환하는 경우에

는 생물반응조 및 이차침전지의 용적 증대가 수반되는데, 이차침전지의 경우 용적증대 대신에 기존 침전지 성능 개선을 통해서 이를 수행하기도 한다 (홍성철 등, 2007).

일반적으로 활성슬러지 시스템은 생물반응조의 MLSS농도를 2000mg/L내외로 운전하고 있으나 생물학적 고도처리 시스템에서는 3000mg/L내외로 운전하는 관계로 활성슬러지 시스템의 이차침전지를 그대로 사용하는 것은 고액분리에 많은 문제를 야기하여 하수도시설기준에서도 이

*Corresponding author Tel : 82-31-249-9737, Fax : 82-31-244-6300, E-mail : bal@kgu.ac.kr(B. H. Lee)

를 고려하여 설계하도록 제시하고 있다 (한국상하수도협회, 2011). 기존 이차 침전지를 생물학적 고도처리용으로 성능을 개선하는 방법으로는 원형침전지의 경우 유입 우물의 크기를 증대시키는 방법이 사용되고(홍성철 등, 2007), 장방형 침전지의 경우에는 이중다공판을 설치하고 있다(이병희 등, 2005). 그리고 이와 더불어 경사판을 설치하여 침전성 향상을 권장하고 있다(환경부, 2011).

경사판 침전에 대한 이론은 Boycott (1920)가 처음 보고하였다. Boycott (1920)는 조그만 실험관에 혈액을 넣고 이를 기울이면 수직인 경우보다 혈구의 침전이 빠르다는 것을 발견하였다. Ponder (1925)는 Boycott(1920)가 제시한 현상을 규명하고자 경사진 실험관에서의 세포의 침전속도에 대한 실험을 수행하고 이를 수학적 모델을 이용해서 해석하였고, Nakamura와 Kuroda (1937)도 경사진 실험관에서 적혈구가 빠르게 침전한다는 것을 이론적으로 설명하였고 실험적으로는 증명하려 하였다. 이들의 연구 결과는 간단한 식으로 표현되었는데, Xu 등 (2005)은 Boycott (1920)가 발견한 현상과 이를 수학적으로 제시한 Ponder (1925)와 Nakamura와 Kuroda (1937)의 결과를 이용해서 PNK이론을 제시하였는데, 이 이론은 아래 식으로 나타내었다.

$$\frac{dh}{dt} = V_o \left(1 + \frac{h}{b} \sin A\right)$$

여기서,

V_o = 입자 침강속도

h = 경사판 수직 투영 길이

b = 경사판 간격

A = 수직에 대한 경사판 설치 각도

이 식은 경사판 내부에서의 침전 속도는 $(1 + \frac{h}{b} \sin A)$ 만큼 증가한다는 것을 보여 주었다.

Foellmi 등(1985)은 경사판 침전지 제작 업체별 수표면적 계산 방법을 제시하였는데, 스웨덴의 GEWE사는 경사판 투영 면적 (projected

area)을 모두 수표면적으로 계산하였고, 미국 Parkson사는 경사판 하부 유입부 20%는 수표면적 계산에서 제외한다고 보고 하였는데, 이는 침전대상물의 하부 유입을고려하기 때문이라고 보고하였다. 그리고 Wenk(1990)는 경사판 침전지에 있어서 침전지 수표면은 경사판 수평 투영면적으로 정의 하였다. Laskovski 등(2006)은 경사판 수평 투영면적을 침전지 수표면적으로 계산해서 침전 현상을 파악하였고, 침전 입자의 재부상이 침전 효율을 감소시킨다는 보여주었다.

경사판이 설치된 침전지에 대한 연구는 Hansen 등(1969)이 수행했는데, 이들은 일차 및 이차침전에 경사판을 사용하여 부유물질 침전을 수행하였는데, 큰 문제가 없는 것으로 보고하였다. 경사판 이차침전지의 경우 침전지 유출수 평균 SS농도는 60mg/L가 되나 표준편차가 49mg/L로 그 변화가 매우 큰 것으로 나타났다. 참고로 최저농도와 최고농도는 각각 4mg/L와 202mg/L로 보고하였다. Slechta 등(1971)은 일차 및 이차침전지에 직경 15cm, 길이 0.61m와 1.22m 두 종류의 튜브를 침전지에 수평 및 경사지게 설치하여 고액분리 현상을 관찰하였다. 일차침전지의 경우에는 그 효과가 큰 것으로 나타났으나, 주기적으로 청소를 해주어야 하는 것으로 나타났고, 이차침전지의 경우에는 운전초기에는 효과가 있었으나, 튜브 내에 MLSS가 누적되는 현상이 나타난다는 것을 보고하였다. Stevenson(1997)은 부착력이 큰 입자를 침전시키는데 있어서 경사판 침전지를 사용하면 안 된다고 하였으며, 일차침전지에는 경사판 사용이 가능하다고 제시하였다. Kolisch 등(2004)은 생물반응조 내부에 경사판을 설치하여 MLSS농축 정도를 보여주었으나 경사판 사양은 제시하지 않았다. 우리나라는 환경부가 공공하수도시설 설치사업 업무지침(환경부, 2011)을 통해서 표준화성슬러지법을 고도처리시설로 전환하는 경우 이차침전지에서의 부유물질(SS)제거 효율을 높이기 위해서 경사판 설치를 제시하였다.

이와 같이 경사판을 이용한 침전은 1920년에 발견되어 수학적 모델로, 그리고 설계 방법으로

제시되었고, 이와 동시에 일차 및 이차침전지에 적용되었다. 우리나라의 경우 환경부는 활성슬러지공법의 생물학적 고도처리 공법으로의 변경 시 기존 이차침전지에 경사판 설치를 권장하고 있지만 경사판 이차침전지가 현장에 적용된 경우 그 운전 결과가 제시되지 않은 관계로 유입 MLSS농도 변화에 따른 침전 특성을 파악하는 연구가 필요하다고 판단된다.

2. 연구 방법

경사판이 삽입된 이차침전지에서의 침전성을 파악하기 위해서 실험실 규모의 활성슬러지 시스템을 설치하였는데, 동일한 MLSS가 공급되는 두 개의 이차침전지에서 고액분리를 수행하도록 하였다. Table 1과 Fig. 1은 실험장치의 사양과 공정도를 각각 보여주고 있다. 유입수량은 두 침전지가 동일한 수표적 부하를 가지면서 수리학적 체류시간이 4시간 내외가 되도록 설정하였는데, 이는 생물학적 고도처리 이차침전지 설계 수표면 부하가 $1\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 이고 수심이 4m인 경우에 수리학적 체류시간이 4시간으로 계산되기 때문이다. 본 실험에서는 이차침전지의 사양이 다른 관계로 두 개 침전지에 동일한 수표면적 부하 $0.07\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 를 갖도록 하여 Lamellar가 들어있는 침전지(Fig. 1의 Clarifier A)의 수리학적 체류시간은 4.5시간, Lamellar가 없는 침전지(Fig. 1의 Clarifier B) 체류시간은 3.7시간이 되도록 하였다. 이 같이 두 개의 침전지가 동일한 수표면적 부하 $0.07\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{hr}$ 가 되도록 분배장치를 이용해서 Clarifier A에는 69.8 ml/min (100.5 l/day), Clarifier B는 60.2 ml/min (86.7 l/day)가 유입되도록 하여, 생물반응조에 유입되는 총 유입수량은 187.2 l/day 가 되도록 하였다. 각 이차침전지에서의 반송은 Tubing Pump를 사용하였는데, 반송율은 유입수량의 80%로 설정하였다.

Clarifier A에 삽입되는 경사판은 원형으로 제작될 수 없는 관계로 침전지를 8등분하고 각 부분에 1.5cm 간격으로 경사판을 60° 기울기로 삽입하였다. Fig. 2는 수돗물이 들어있는 Clar

Table 1. Experimental apparatus specifications

Influent Flow, l/day		187.2
Aeration Tank	Volume, l	40.8
	Aeration Tank Hydraulic Retention Time, hr	5.2
Clarifier A (with Lamellar)	Inflow, l/day	100.8
	Diameter, cm	27
	Surface Area, cm^2	572.3
	Depth in Barrel Section, cm	28
	Surface Loading Rate $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{시간}$	0.07
	Depth in Conic Section, cm	15
	Total Volume, cm^3	188.5
	Derention Time, hr	4.5
Clarifier B (with Lamellar)	Inflow, l/day	86.4
	Diameter, cm	25
	Surface Area, cm^2	490.6
	Depth in Barrel Section, cm	24
	Surface Loading Rate $\text{m}^3/\text{m}^2/\text{시간}$	0.07
	Depth in Conic Section, cm	10
	Total Volume, cm^3	134.1
	Derention Time, hr	3.7

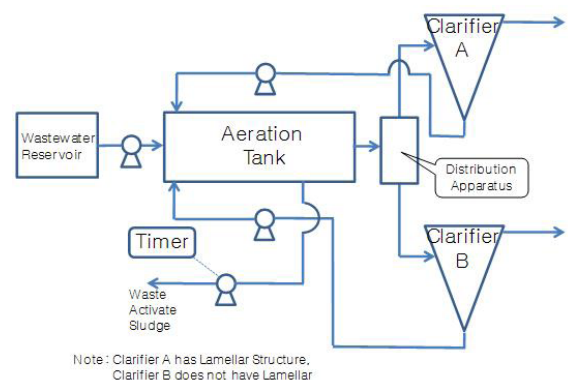
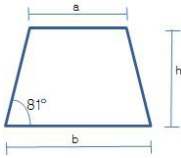


Fig. 1 Layout for Lamellar clarifier comparison test

ifier A의 평면 사진을 보여주고 있는데, 이 사진에 있는 바와 같이 침전지가 원형인 관계로 침전지 외곽에서 중앙으로 갈수록 경사판의 폭이 줄어든다. Table 2는 침전지에 삽입된 경사판 형

Table 2. Lamellar types and specifications

	Type	a cm	b cm	h cm	Area for each Type cm ²	No. for Each Type	Total Area for Each Type cm ²
	A	7.4	10.4	7.9	70.3	8	562.5
	B	5.8	8.8	7.9	57.7	8	461.3
	C	4.4	7.4	7.9	46.6	8	372.9
	D	2.8	5.8	7.9	34.0	8	271.8
Total Area, cm ²							1668.5

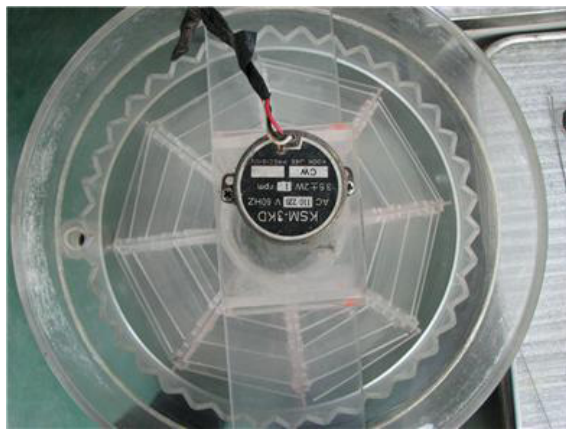


Fig. 2 Top view of Clarifier A (with Lamellar) with tap water

태를 보여주고 있는데, 각기 다른 4개 형태의 경사판이 1.5cm 간격, 60°의 기울기로 삽입되었으며, 각 형태별 총 8개, 즉 32개의 경사판이 Clarifier A에 삽입되었다. 이 표에 있는 바와 같이 경사판의 총 면적은 1668.5cm², 그리고 60°를 고려한 수평 투영면적은 834.25cm²로 침전지 수면적 572.3cm²의 약 1.45배 이다.

두 개의 이차침전지에 MLSS를 공급하기 위해서 Fig. 1의 공정도에 있는 바와 같은 활성슬러지 시스템을 운전하였는데, 포기만 수행하는 생물반응조의 체류시간은 5.2시간으로 해서 MLSS가 충분히 성장할 수 있는 조건을 제공하였다. 활성슬러지 시스템의 유입수는 수돗물 200 l 에 유기물 성분으로 메탄올 34ml, 질소 성분으로 NH₄Cl 15.9g을 넣어서 CODcr 이 200mg/L, T-N이 20mg/L가 되도록 하였다. 그리고 인을 포함한 미량 영양분은 Standard Methods(Clesceri 등, 1998)의 BOD실험용 희석수 제조법에 사용된 약품을 사용하였다.

생물반응조 MLSS농도 변화는 총 슬러지 체

류시간 (SRT, Sludge Retention Time)조정을 통해서 수행하였는데, 1차 실험 목표 SRT는 10일이었고, 2차실험 목표 SRT는 7일 이었다. SRT 조절을 위한 슬러지 인발은 생물반응조에서 직접 인발하였는데, 일시적 슬러지 인발에 따른 충격을 줄이기 위해 Timer를 이용해서 SRT 10일인 경우에는 매 2시간 마다 15분씩 23 ml/min으로, SRT 7일인 경우에는 매 1시간 마다 15분씩 16ml/min으로 인발하였다. 식종 슬러지는 경기도 Y군 하수처리장에서 공급받았는데, 이 처리장은 탈질을 위해 메탄올을 사용하는 관계로 식종 슬러지는 메탄올에 이미 적응되어 기질 변화에 따른 영향을 최소화 시켰다.

3. 결과 및 고찰

경사판이 설치된 이차침전지의 침전성을 파악하기 위한 실험은 2011년12월 16일부터 2012년 1월 19일까지 총 30일간 수행되었다. Fig. 3은 실험기간동안의 생물반응조 MLSS 농도, 경사판이 있는 침전지(Clarifier A) 및 없는 침전지(Clarifier B) 처리수 SS농도를 보여주고 있다. 이 그림에서 보여주고 있듯이 본 실험은 두 단계로 수행되었다. 1 단계는 2012년 1월 1일부터 1월 11일까지 수행하였으며 SRT를 10일정도로 유지해서 MLSS농도가 3500mg/L인 경우에 있어서의 침전 특성을 파악하였고, 2단계는 저농도 MLSS에서의 영향을 파악하고자 SRT를 7일로 유지하여 MLSS농도를 2500mg/L로 유지하였다. 1단계 기간 동안에는 잉여슬러지 펌프의 정상적인 작동에 의해서 반응조 MLSS농도

는 3500mg/L내외로 유지되었으나, 2단계 실험 기간 동안에는 잉여슬러지 펌프가 비정상적으로 작동해서 목표 SRT를 맞추기 위한 일정량의 잉여슬러지 인발이 어려워 반응조 MLSS농도를 일정하게 유지하기 힘들었지만 반응조 MLSS농도 변화에 따른 침전지에서의 침전 특성을 파악하는데 많은 결과를 제시하였다.

이 그림에서 보여주고 있듯이 반응조는 12월 16일에 식중되어 2012년 1월 1일까지 지속적으로 MLSS농도가 떨어졌으며 이후에는 반응조 MLSS가 일정하게 유지된 것으로 보았을 때, 1단계 실험 목표 SRT에 상응하는 반응조 MLSS농도는 15일간의 적응기간을 통해서 달성된 것으로 판단된다. 2012년 1월 12일부터 2단계 목표 SRT 7일에 도달하도록 잉여슬러지 배출량을 증가시켰다. 그리고 반응조 MLSS 감소에 따른 침전 특성을 파악하기 위해 처리수 SS농도를 잉여슬러지 인발량 증가 시작 후 2일째부터 분석하였다. Fig. 3에서 보여주고 있듯이 1단계에서의

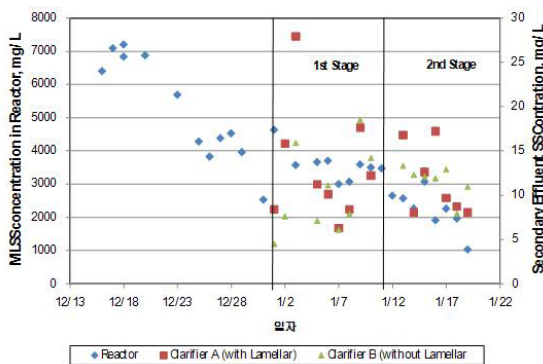


Fig. 3 Experimental results showing reactor MLSS and effluent SS concentrations from each clarifier at different stages.

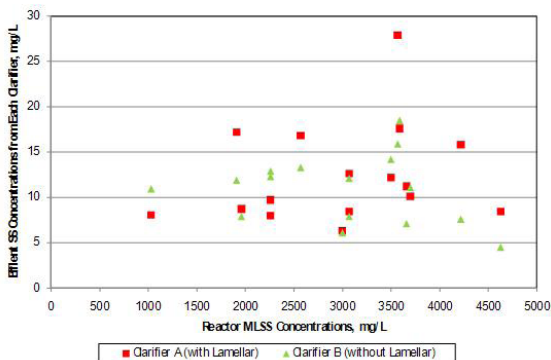


Fig. 4 The relationship between MLSS concentrations in Reactor and Effluent SS concentrations from each clarifier

반응조 MLSS 농도는 3500mg/L내외로 유지되어 고농도 MLSS 침전지 유입 시 경사판 및 비경사판 침전지에서의 침전 특성을 파악할 수 있었다. 그리고 2단계에서는 반응조 MLSS농도가 2500mg/L에서 1000mg/L까지 떨어지는데, 이 같은 저농도 구역에서의 농도 변화는 이차침전지에 저농도의 MLSS가 유입되는 경우에서의 경사판 및 비경사판 침전지에서의 침전 특성 파악을 가능하게 하였다.

Fig. 4는 반응조 MLSS농도, 즉 이차침전지 유입수 MLSS농도에 따른 처리수 SS농도 변화를 보여주고 있다. 이 그림에서 보여주고 있듯이 경사판 이차침전지(Clarifier A) 처리수 SS농도는 언제나 비경사판 이차침전지(Clarifier B) 처리수 SS농도보다 높은 것으로 나타났다. 그리고 반응조 MLSS농도가 높은 경우에 처리수 SS농도가 낮아지는 경향을 보여주는데, 이에 대한 자세한 사항은 다음에 설명되었다.

Fig. 5는 경사판 침전지(Clarifier A)의 반응조 MLSS농도 변화에 따른 처리수 SS농도를 보여주고 있다. 이 그림에서 보여주고 있듯이 침전지 유입 MLSS와 처리수 SS농도는 비례관계를 가지고 있는 것으로 나타났다. 이 같은 현상은 Fig. 7 (a)에서 있는 바와 같이 고농도 MLSS 유입 시 다량의 MLSS가 경사판에 부착되었다가 유실되어서 발생한 현상으로 파악되는데, 이는 Stevenson(1997)이 제시한 결과와 동일하다. 그리고 Fig. 7 (b)는 저농도 유입시 경사판 침전지(Clarifier A)의 경사판에 붙어있는 MLSS를 보여주고 있는데, 고농도 유입 시 보다 상당히 적은 MLSS가 부착되었다는 것을 보여주고 있다. 그러므로 침전지에 유입하는 MLSS농도와 경사판에 부착되는 슬러지량, 그리고 처리수 SS농도는 밀접한 관계가 있는 것으로 나타났다. Fig. 6는 비경사판 침전지(Clarifier B)의 반응조 MLSS농도 변화에 따른 처리수 SS농도를 보여주고 있는데, 반응조 MLSS농도, 즉 이차침전지 유입수 MLSS농도가 증가할수록 처리수 SS농도가 떨어지는 것을 보여주는데, 이는 MLSS농도가 낮을수록, 즉 생물반응조 SRT

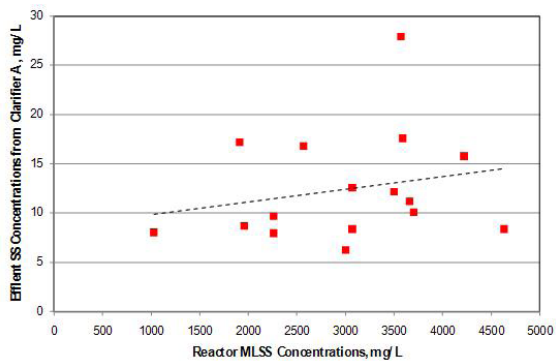


Fig. 5 The relationship between MLSS concentrations in Reactor and Clarifier A effluent SS concentrations

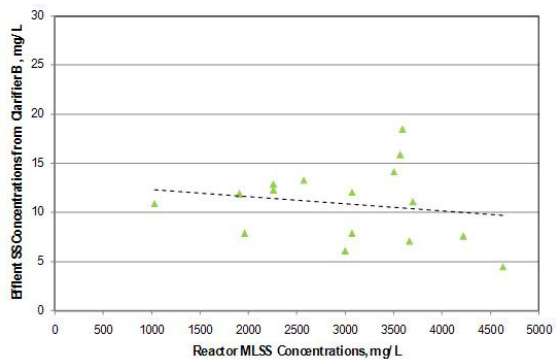


Fig. 6 The relationship between MLSS concentrations in Reactor and Clarifier B effluent SS concentrations



(a) 1st stage



(b) 2nd stage

Fig. 7 Top view pictures of Clarifier A (with Lamellar) with MLSS at 1st (a) and 2nd stage (b).

가 낮을수록 생물반응조 MLSS플록의 응결성이 떨어져 발생한 현상으로 파악된다. SVI(Sludge Volume Index)는 각 단계별 실험 종료 시에 실시 하였는데, 이는 SVI 실험에 소요되는 1L의 MLSS를 한번에 폭기조에서 인발하는 경우 미생물에 영향을 주어 침전 특성에 변화를 줄 수 있기 때문이다. SVI는 단계 별 차이 없이 평균 60 ml/g으로 나타나, sludge bulking 현상 기준으로 인식되는 200ml/g이하 http://www.konetic.or.kr/?p_name=env_morgue&sub_page=env_calc&gotopage=4&query=view&unique_num=964가 되어 사상성 미생물에 의한 침전 방해 현상은 없는 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구를 통해 다음과 같은 결론이 도출되었다.

- 1) 경사판 침전지에 부착되는 MLSS량은 침전지 유입 MLSS농도에 비례하였으며, 처리수 SS농도는 부착된 MLSS의 탈착에 의해서 증가하였다. 그러므로 반응조 MLSS를 고농도로 유지하는 생물학적 고도처리에서 경사판 침전지를 사용하는 경우 MLSS 탈착에 의해 이차처리수 SS농도가 증가하여 방류수 배출기준을 만족시키지 못할 수 있고, 후단에 여과시설이 있는 경우 여과시설을 폐색시킬 수 있다.
- 2) 활성슬러지 시스템 이차침전지에서의 경사판 사용은 고액분리 효율을 증대시키지 않은 것으로 나타났다. 즉, 경사판 침전지에 적용되는 Boycott 이론에 의한 침전 속도 증가, 또는 경사판 삽입에 따른 침전 수표면적 증대에 따른 효과는 없는 것으로 나타나, 경사판 이차침전지 설계 기준은 없는 것으로 파악되었다.
- 3) 기존 활성슬러지 시스템을 고도처리로 전환하는 경우 이차침전지 침전 능력을 향상시키기 위해 환경부(2011)는 경사판 설치를 추천하고 있는데, 이 추천과 더불어 경

사판 설치 시 MLSS 경사판 부착 및 탈리 현상에 의해 처리수 SS농도가 높아질 수 있다는 것을 명기해야 한다고 판단된다.

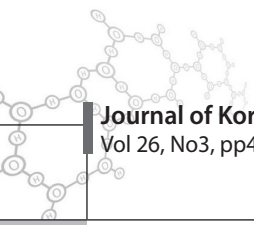
- 4) 원형 이차침전지 특성 상 침전지 원주로만 유출수가 유출되어 침전지 중앙 부근 경사판 유입 유량이 원주부근의 경사판 유입 유량보다 적어, 원주 부근 경사판 부착 MLSS의 탈리가 쉽게 이루어질 수 있으므로 이에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 본 연구는 2011학년도 경기대학교 학술연구비(일반연구과제) 지원에 의하여 수행되었고, 본 연구에 도움을 준 경기대학교 환경에너지시스템공학과 최 정수, 이 제승, 서 진욱과 김 우람군에게 감사를 표합니다.

참고 문헌

- 이병희, 김정주 (2005) 생물학적 고도처리용 장방형 침전지, 한국물환경학회·대한상하수도학회 2005년 공동춘계학술발표회 논문집, pp 243-247.
- 홍성철, 이병희, 이용운 (2007) 컴퓨터 모델을 이용한 이차침전지 설계 검증, 한국도시환경학회지, 7(4), pp. 39-48.
- 한국상하수도협회 (2011) 하수도시설기준, p. 416, 한국상하수도협회
- 환경부 (2011) 공공하수도시설 설치사업 업무지침, p. 41, 환경부.
- Boycott, A. E. (1920) Sedimentation of blood corpuscles, Nature Vol. 104, p. 532.
- Clesceri, Lenore S., Greenberg, Arnold E. and Eaton, Andrew D. (1998) Standard Methods - Examination of Water and Wastewater, 20th edition, pp. 5-3 - 5-4, American Public Health Association, Washington D.C., U.S.A.
- Foellmi, Steven N. and Bryant, Harley H. (1984) Lamellar Plate Settlers, Design and Operation Two Case Histories, www.terrestorm.com/press_research_Foellmi_and_Bryant.pdf
- Galvin, K. P. and Nguyentranlam, G. (2002) Influence of Parallel Inclined Plates in a Liquid Fluidized Bed System, Chemical Engineering Science, Vol. 57, pp. 1231-1234
- Hane-Weijman, Hans (1990) Lamella Separation Old Technology in a Modern Concept, Journal of American Water Works Association, vol 82, No. 1, pp. 803-817.
- Hansen, Sigurd P., Culp, Gordon L. and Stukenberg, John R. (1969) Practical Application of Idealized Sedimentation Theory in Wastewater Treatment, Journal of Water Pollution Control Federation, Vol. 41, No. 9, Part 1, pp. 1421 - 1443.
- Kolish, G. and Schirmer, G. (2004) Lamellar separators in the upgrading of a large urban swage treatment plant, Water Science and Technology, Vol. 70, No. 7, pp 205-212.
- Nakamura, Hiroshi and Koroda, Kaitiro (1937) La cause de l'acceleration de la vitesse de sedimentation des suspensions dans les recipients inclines, Keijo J. Med., 8, pp. 256-296.
- Ponder, Eric (1925) On Sedimentation and Rouleaux Formation - I, Quarterly Journal of Experimental Physiology, Vol. 15, pp. 235-252.
- Saddy, Noori M. Cata (2012) Effects of inclined plates and polyelectrolyte on the performance of settled tanks, Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation, Vol. 7, No. 1, pp. 35-42
- Slechta, Alfred F. and Conley, Walter R. (1971) Recent Experiences in Plant-Scale Application on the Settling Tube Concept, Journal of Water Pollution Control Federation, Vol. 43, No. 8, pp. 1724 - 1738.
- Stevenson, David G. (1997) Water Treatment Unit Processes, pp.151 - 162, Imperial College Press, London, UK.
- Wang, Lawrence K., Hung, Yung-Tse and Shamas, Nazih K. (2004) Physicochemical Treatment Processes, pp. 379 - 429, Humana Press Inc. New Jersey, U.S.A.



Wenk, Sandra E. (1990) The Theory, Design and Experience of Lamellar Gravity Settlers in the Phosphate Industry, Fertilizer Research, Vol. 25, pp. 139-143.

Xu, Zu-Jia and Michaelides, Efstathios E. (2005) A Numerical Simulation of the Boycott Effect, Chem. Eng. Comm., Vol. 192, pp. 532-549