

수질 특성(TSS) 파악을 통한 1차 침전지 성능 평가 (TSS 농도를 중심으로) Evaluation of Primary Clarifier by Wastewater TSS Characterization

이 병 희*

Byonghi Lee

경기대학교 공과대학 환경공학전공

(2009년 4월30일 접수 ; 2009년6월9일 수정 ; 2009년 6월11일 채택)

Abstract

In order to evaluate primary clarifier performance on TSS(Total Suspended solids) removal, four different sampling sets were collected as part of this study; (1) weekly test, (2) the diurnal sampling, (3) the settling velocity distribution sampling. Primary effluent TSS(TSS_{PE}) and non settleable TSS(TSS_{NON}) concentrations were averaged 160 and 75.5 mg/L, respectively. These data suggest approximately 85 mg/L TSS can be removed more. Average TSS_{NON}, TSS_{PE}, and Dispersed TSS(DTSS) concentrations(75.5, 160, and 104 mg/L, respectively) suggest that 28.5 mg/L of TSS difference attributable to poor flocculation, whereas 56 mg/L of TSS difference attributable to poor hydraulics within primary clarifier.

In this study, equations for maximum TSS removal efficiency and effluent TSS concentration were suggested and compared with experimented data.

Key words : primary clarifier, removal efficiency, non settleable TSS, Dispersed TSS

주제어 : 1차 침전지, 제거효율, 침전하지 않는 TSS, 분산 TSS,

1. 서론

국내 하수도시설이 합류식에서 분류식으로 점차 바뀌면서 하수처리장으로 들어오는 유입수 농도가 합류식에 비해 매우 높아졌다(환경관리공단, 2008). 이로인해 합류식으로 들어오는 유입수를 처리하던 하수처리장은 분류식을 통해 들어오는 유입수를 처리할 능력이 부족한 실정이다. 이에 따라 기존 하수처리장은 새로운 공법 도입 및 재설계를 해야하고, 1차 침전지가 없는 하수처리장의 경우 생물반응조의 과부하로 인해 처리수 농도가 높아질 수 있다. 또한 황규대와

김태경(2007)은 1차 침전지가 제외된 하수처리시설의 생물학적 처리공정은 SS와 유기물 부하가 늘어나 슬러지 발생량이 증가되고 C/N비가 높아져서 질산화 미생물의 분율이 낮아지고 질산화율이 감소된다고 하였다.

TSS(Total Suspended Solid) 제거에 있어서 1차 침전지에 영향을 주는 요소들은 유입수 TSS 농도, 침전되지 않는 TSS 농도(TSS_{NON}), 수리학적 부하율(SOR : Surface Overflow Rate), 고형물의 침전특성, 분산 TSS(Dispersed TSS, DTSS) 이다. 본 연구는 1차 침전지에 영향을 미치는 이 요소들을 파악하여 TSS 제거에 있어서의

* Corresponding author Tel:+82-31-249-9737, Fax:+82-31-244-6300, E-mail: ba1@kyonggi.ac.kr(Lee. B.H.)

1차 침전지 성능을 확인하는 것이다.

1차 침전지에 대한 제거효율은 BOD 20~50%, TSS 50~70%로 각각 보고되고 있으나(Metcalf & Eddy, 2003), 정확한 침전지 성능을 규명함으로써 생물반응조에 미치는 영향을 파악할 수 있다고 판단된다. 1차 침전지 성능은 TSS와 COD 또는 BOD₅ 제거효율에 영향을 주는데 1차 침전지는 용해성 COD(또는 BOD₅)를 충분히 제거하지 못 한다. 어떤 콜로이드성 COD(또는 BOD₅)는 용해됨으로써 용해성으로 측정될 것이고, 응집되어 커진 입자들은 침전하여 제거된다. 만약 1차 처리수내 침전가능하거나 또는 침전되지 않은 TSS, 그리고 용해성 COD와 입자성 COD의 상대적인 양을 파악하지 못 한다면, 침전지의 실제기능은 확인될 수 없다.

1차 침전지는 다른 처리공정보다 적은 운영비용으로 오염 물질을 제거한다. 1차 침전지의 목적은 침전가능한 TSS를 제거하는 것이며, 이의 성능은 TSS 제거효율에 의해 좌우된다. 본 연구에서는 TSS를 중심으로 일차 침전지의 성능파악 및 일차 처리수 TSS 농도를 예측하는 방법을 제시할 것이며, 추후에 BOD, COD, T-N, T-P를 중심으로 한 연구 결과를 발표할 것이다.

2. 이론적 고찰

1차 침전지 유입수 TSS는 침전가능한 것과 침전 가능하지 않은 것으로 분류되며, 이상적인 1차 침전지는 수리학적 부하량(SOR, Surface Overflow Rate)보다 큰 침전속도를 가진 침전가능한 TSS를 제거할 것이지만, 이는 유입수내 침전가능한 TSS의 일부분에 불과하다. 1차 침전지내 TSS 제거효율(E_{TSS})과 최대제거효율(E_{TSSMAX})는 다음 식에 의해 정의된다.

$$E_{TSS} = 1 - (TSS_{PE}/TSS_{PI}) \quad (1)$$

$$E_{TSSMAX} = 1 - (TSS_{NON}/TSS_{PI}) \quad (2)$$

여기서, TSS_{PE} = 1차 침전지 처리수 TSS (mg/L)
TSS_{PI} = 1차 침전지 유입수 TSS (mg/L)
TSS_{NON} = 침전되지 않는 TSS (mg/L) 이다.

Tebutt와 Christoulas(1975)는 1차 처리수 TSS 농도를 수리학적 체류시간, 1차 침전지 유입 TSS농도(TSS_{PI}), 그리고 침전되지 않는 TSS농도(TSS_{NON})의 함수로 식(3)과 같이 보고했다.

$$TSS_{PE} = TSS_{NON} + (TSS_{PI} - TSS_{NON})e^{-n\tau} \quad (3)$$

여기서, TSS_{NON} = 침전하지 않는 TSS 농도(mg/L)

n = 상수(1/min)

τ = 수리학적 체류시간(min)

Whalberg, E. J., et al.(1998)는 일차 처리수 TSS 농도를 예측하기 위해 감소지수곡선인 식(4)와 (5)를 제시하였고, 이 식의 상수 λ를 파악하기 위해 컬럼내 고정된 지점에서의 상등수 TSS 농도를 측정하는 구체적인 실험방법을 제시하였다. 이들이 제시한 식은 다음과 같다.

$$TSS_{PE} = TSS_{NON} + (TSS_{PI} - TSS_{NON})e^{-\lambda/SOR} \quad \text{이며, (4)}$$

제거효율로 표현하면,

$$E_{TSS} = 1 - [TSS_{NON} + (TSS_{PI} - TSS_{NON})e^{-\lambda/SOR}] / TSS_{PI} \quad \text{이 된다. (5)}$$

여기서, λ = n과 d의 곱으로 표현되는 침전변수(m³/m²·hr)

d = 1차 침전지 평균 수심(m)

SOR = 수리학적 부하율(m³/m²·hr)

실질적으로, 식 (4)에서의 1차 처리수 TSS는 TSS_{NON}과 침전 가능한 유출 TSS{(TSS_{PI}-TSS_{NON})e^{-λ/SOR}}로 구성된다. 그러므로, 이상적인 1차 처리수 TSS 농도는 TSS_{NON}와 SOR보다 작은 침전속도를 가진 침전 가능한 TSS농도의 합으로 정의될 것이다.

식 (3)은 침전시간(t) 후 컬럼내 TSS 농도를 예측하기 위해 다음과 같이 변형될 수 있다.

$$TSS_{SUP} = TSS_{NON} + (TSS_{PI} - TSS_{NON})e^{-nt} \quad (6)$$

여기서, TSS_{SUP} = 침전시간 t 후 상등수 TSS 농도 (mg/L)

TSS_{NON} = 침전되지 않는 유입수 TSS 농도 (mg/L)

TSS_{PI} = 1차 침전지 유입수 TSS농도 (mg/L)

n = 상수 (1/min)

t = 침전시간 (min)

침전시간(t) 후 침전에 의해 제거된 TSS 비율은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$f_{removed} = 1 - TSS_{SUP}/TSS_{PI} \quad (7)$$

여기서, f_{removed} = 침전시간 (t) 후 침전에 의해 제거된 TSS 비율 (무차원)

식 (7)에 식(6)를 대입하고, 이를 식(2)에 대입하면,

$$f_{\text{removed}} = E_{\text{TSSMAX}}(1 - e^{-nt}) \quad (8)$$

3. 실험재료 및 방법

3.1 기초자료 실험

본 연구를 위해 분류식 하수가 유입하는 경기도 S하수처리장에서 2008년 7월부터 12월까지 주 1회씩 총 15회 시료를 수집하였다. 연구대상 S 하수처리장의 시설용량은 215,000m³/d으로, 장방형 1차 침전지가지고 있으며 1지의 폭은 9.0m, 길이는 35.0m, 수심은 3.2m 이고, 지당 체류시간은 2시간이다. 시료는 1차 침전지 유입수와 처리수를 수집하여 이들의 TSS 농도를 수질오염공정시험법(2000)에 준하여 분석하였다. 침전되지 않는 TSS(TSS_{NON}) 농도는 Jar Tester를 이용하여 2L의 1차 유입수를 30분 동안 50RPM으로 교반한 후 이어서 30분 침전시킨 후 상등수를 분석하였다. 분산 TSS(DTSS)는 1차 침전지 유출부 웨어의 유출수를 Kemmerer Sampler로 수집하여 30분 침전시킨 후 상등수를 이용하였는데, Kemmerer Sampler는 응집이 발생되지 않도록 하기위해 사용되었다. Kemmerer Sampler는 원형관으로 직경 11cm, 길이 60cm 이며, 일정 수심의 시료를 채취하는 것으로 교반없이 시료를 채취할 수 있어 시료채취 중의 응집을 최소화시킬 수 있다. (<http://www.rickly.com/as/kemmerer.htm>).

3.2 일차 침전지 유입수, 처리수 TSS 및 침전되지 않은 TSS(TSS_{NON}) 농도의 일자료

일 자료는 1차 침전지 성능에 영향을 미치는 하수특성 파악을 위해 24시간 동안의 변화성을 조사였다. 1차 침전지 유입수와 처리수 샘플들은 TSS 분석을 위해 하루 24시간 동안 매시간 수집하였고, 총 3회 수행하였다.

또한 24시간 동안 하수내에 침전가능한 것과 침전되지 않는 TSS 농도의 다양성을 조사하기 위해 1차 침전지 유입수 TSS, 침전되지 않는 TSS(TSS_{NON})를 24시간 동안 2시간 마다 측정하였으며 총 3회 수행하였다.

3.3 침전속도분포 자료

침전속도분포는 식 (4)의 침전변수 λ의 파악을 위해 Wahlberg, et al.(2006)에서 제시된바와 같이 수행하였다. 1차 침전지 유입수를 Kemmerer Sampler로 수집하였으며 1, 2, 4, 8, 16, 32, 64분의 침전시간 동안 침전시킨 후 수표면으로부터 17.1cm 아래에서 시료를 수집하였다. 각각의 침전시간으로 월 3회씩 4개월 동안 총 12회 실시하였고, 채취된 시료의 TSS 분석은 3회 반복 분석하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 기초자료

일차 침전지 유입수 TSS 표준편차는 68.2이나 일차 처리수는 48.5로 감소하는 것을 보여주었다(Table 1). 이와같이 표준편차가 감소하는 것으로 보아 유입수의 변화성에 대해 1차 침전지의 안정화 효과를 확인할 수 있다. <Fig. 1>은 1차 침전지 유입수 및 처리수 일별 TSS 농도를 보여주고 있는데, 처리수 농도가 유입수 농도에 비례함을 보여주고 있다. 일자가 지남에 따라 TSS 농도가 증가하는 것은 강우와 관련이 있는 것으로 파악되는데, 연구대상 S 하수처리장으로 유입 및 침투량이 감소함에 따라 발생하는 현상으로 파악된다. 또한 <Fig. 1>에서 보여주는 바와 같이 일차 처리수의 변화폭이 유입수에 비해 적은 것으로 S 하수처리장 1차 침전지의 안정화 효과도 확인할 수 있다.

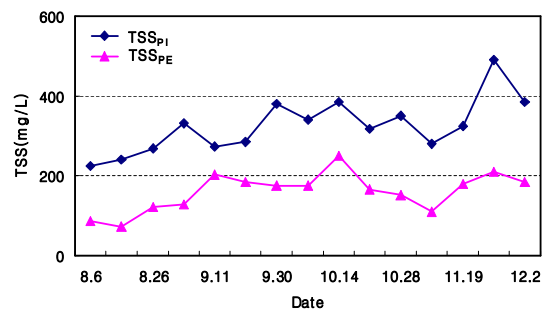


Fig. 1. Primary Influent and Effluent TSS concentrations.

Table 1. Summary statistics for TSS concentrations.

Analysis	Average (mg/L)	Maximum (mg/L)	Minimum (mg/L)	Standard Deviation (mg/L)
TSS _{Pi}	325	490	225	68.2
TSS _{NON}	75.5	102	38	19.7
TSS _{PE}	160	250	72.7	48.5
DTSS	104	130	46	24.7

이상적인 1차 침전지에서는 1차 침전지 처리수 TSS_{PE} 농도는 침전되지 않는 TSS_{NON} 농도와 거의 같을 것이나, S 하수처리장의 1차 침전지 처리수 TSS(TSS_{PE}) 평균농도와 침전가능하지 않은 TSS(TSS_{NON}) 평균농도는 각각 160, 75.5 mg/L로 나타났다(Table 2). 즉 TSS_{PE} 농도가 TSS_{NON} 농도보다 84.5 mg/L가 큰데, 이것은 침전지내 총 비효율성을 나타내는 것으로 이상적으로 84.5 mg/L의 TSS가 더 제거될 수 있다는 것을 보여준다. 응집되지 않은 분산 TSS(DTSS) 평균농도가 TSS_{NON} 보다 28.5 mg/L 큰 것은 침전지내 응집미로 인해 발생하는 비효율성이며, TSS_{PE} 평균농도가 DTSS 평균농도 보다 56 mg/L 큰 것은 침전지내 부적당한 수리적 요인(편류, 재부상 등)에 의해 발생하는 비효율성이라 판단된다. 실험결과는 <Table 3>에서 보여주는데, Wahlberg, E. J., et al.(2006)가 조사한 미국 주요 하수처리장의 1차 침전지 총 비효율성과 비교하였다.

TSS 제거효율은 <Table 1>의 평균 데이터를 이용하여 계산하였다. 여기서 TSS의 최대 제거효율(E_{TSSMAX})은 침전가능하지 않은 농도를 이용하여 계산하였으며, S 하수처리장의 TSS 제거효율(E_{TSS}) 51%와 최대 제거효율(E_{TSSMAX}) 76.5%의 차이는 25% 정도로 나타났다.

4.2 일차 침전지 유입수, 처리수 TSS 및 침전되지 않는 TSS(TSS_{NON}) 농도의 일차 자료

일 자료의 목적은 TSS의 변화성을 평가하기 위한 것이며, <Fig. 2>에 나타내었다. TSS 농도는 16:00 자료를 제외하고는 유입수 변화 패턴과 처리수 변화 패턴이 비슷하게 나타났다. 16:00 자료는 분석과정에서의 오차로 인한 것으로 판단되며, 20:00 자료는 처리수 시료채취 과정에서 다량의 불순물 유입으로 유입수보다 높은 농도로 나타났다.

Tebutt과 Christoulas(1975)는 유입 하수에 대해 TSS_{NON} 농도가 일정하다고 하였다. <Fig. 3>에서는 유입수

TSS 농도의 변화가 보이지만 TSS_{NON} 농도는 비교적 일정하여 이들의 결론이 타당하다고 판단된다.

4.3 침전속도분포

4개월 동안 수행한 일차 유입수 및 처리수 TSS 농도의 월 평균 4개 자료를 이용하여 curve-fitting 방법으로 구한 식 (8)의 월별 E_{TSSMAX}의 추정값은 각각 0.464, 0.611, 0.706, 0.612로 나타났으며 평균은 0.598 이다. 여기서 8월달의 E_{TSSMAX} 추정값이 제일 낮은 이유는 하수관거 유입/침투에 의해 발생된 현상으로 파악된다. n의 추정값은 각각 0.131, 0.368, 0.425, 0.231 이고, 평균은 0.289 min⁻¹로 나타났다.

식 (8)에 의한 평균 E_{TSSMAX} 값 0.598은 <Table 1>의 TSS_{PI}와 TSS_{NON} 데이터를 식 (2)에 적용하여 계산한 E_{TSSMAX} 값인 0.765와 일치하지 않는다. 침전속도분포 실험은 초기 TSS(TSS_{PI})와 정해진 시간(1, 2, 4, 8, 1, 32, 64 분)동안 침전시킨 후 수표면으로부터 17.1cm 아래에서 채취한 TSS 분석을 수행하는 것이다. 이 실험을 수행하는 동안 침전되지 않는 TSS(TSS_{NON})는 3번씩 측정하였다. 초기 TSS(TSS_{PI})와 침전되지 않는 TSS(TSS_{NON})를 이용하여 침전속도분포 실험기간에 있어서의 식 (2)를 이용하여 E_{TSSMAX}를 계산하였다. 식 (2)를 이용하여 계산된 월 평균 E_{TSSMAX}는 E_{TSSMAX} in Eq.(2)로, 식 (8)을 이용한 E_{TSSMAX}는 E_{TSSMAX} in Eq.(8)로 <Fig. 4~7>에 나타내었다. 이 기간 동안의 평균 1차 침전지 유입수, 침전되지 않는 TSS 농도 자료로부터 식 (2)를 이용하여 계산한 E_{TSSMAX}(0.757) 값은 전체 침전실험 기간동안의 E_{TSSMAX} 값(0.765)에 가깝게 나타났다. 침전속도분포 테스트로부터 추정한 식 (8)의 평균 E_{TSSMAX}값이 0.598로 낮은 이유는 식 (2)를 이용하여 계산된 E_{TSSMAX}(0.757) 값은 침전되지 않는 TSS 테스트를 수행하는 동안 응집이 최적화되었으나, 침전속도분포 실험을 이용한 식 (8)의 E_{TSSMAX}는 Kemmerer Sampler내 수집

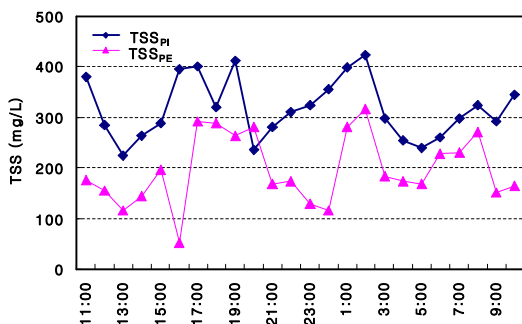


Fig. 2. Hourly Variation of Primary Influent and Effluent TSS concentrations.

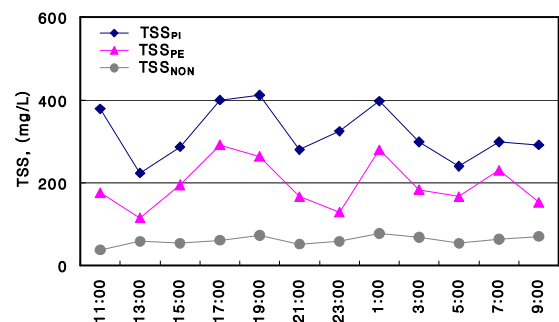


Fig. 3. Hourly variation of primary influent, effluent and non settleable TSS concentrations.

한 샘플이 실제 처리장의 1차 침전지와 같이 응집발생이 부족하기 때문이다. 그러므로 <Table 2>에서 보여주는 바와 같이 51%의 TSS 제거효율을 보여주는 S 하수처리장의 1차 침전지와 같이 응집이 최적화되지 않아서 발생된 현상으로 판단된다.

침전속도분포는 일반적으로 침전변수의 파악을 위해 시행되며, λ 는 식 (5)에 있는바와 같이 침전속도분포 테스트로부터 추정된 평균 n 값인 0.298 min^{-1} 과, Kemmerer sampler내 17.1 cm의 수심(d)의 곱인 $73\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 이다. 또한 실험기간동안 S 처리장 1차 침전지의 평균 SOR은 $26.2 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$ 이다.

<Fig. 8>은 측정된 TSS_{PE} 농도와 앞에서 구한 λ ($73\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$), $n(0.289 \text{ min}^{-1})$ 을 식(4)에 대입하여 추정된 처리수 TSS 농도를 비교하였다. 이 그림에서 보여주는 바와

같이 측정한 일차 침전지 처리수 TSS와 식(4)를 이용하여 추정된 처리수 TSS 농도는 비교적 비슷한 패턴을 보였지만 일치한다고는 할 수 없다. 이에 대한 이유는 λ 는 n 과 d 의 곱이고, 여기서 d 는 1차 침전지 수심이 아니고 Kemmerer sampler내 샘플 지점의 깊이로 했기 때문이다. 이 때문에 λ 는 기초자료를 이용하여 대안적으로 추정될 수 있다.

일차 침전지 유입수, 처리수, 침전되지 않는 TSS 농도 실험자료를 식 (4)에 적용하여 계산된 λ 값은 $33.3 \text{ m}^2/\text{m}^3\cdot\text{d}$ 이다. 이것은 침전속도분포 테스트로부터 얻어진 λ 값과 매우 다르다. <Fig. 9>는 측정된 TSS_{PE} 와 식(4)에 λ 값으로 $33.3 \text{ m}^2/\text{m}^3\cdot\text{d}$ 을 적용하여 계산한 TSS_{PE} 농도를 비교하였다. 이 또한 패턴은 비슷하지만 일치한다고 볼 수 없다. 그러므로 본 연구에서 추정된 λ 값은 정확한 일차 처리수 TSS 농도(TSS_{PE})를 예측하지 못하였다.

Table 2. Average primary influent characteristics from experimental data.

TSS _{PI} (mg/L)	TSS _{NON} (mg/L)	TSS _{PE} (mg/L)	DTSS(mg/L)	E _{TSS} in Eq.(1)(%)	E _{TSSMAX} in Eq.(2)(%)
325	75.5	160	104	51	76.5

Table 3. Comparison of Primary clarifier inefficiencies.

	Total Inefficiency (TSS _{PE} -TSS _{NON}) mg TSS/L	Flocculation Inefficiency (DTSS-TSS _{NON}) mg TSS/L	Hydraulic inefficiency (TSS _{PE} -DTSS) mg TSS/L
City of Bellingham*	25.7	7.6	18.1
City of Edmonds-squirrel*	24.3	10.9	13.4
City of Edmonds-rectangular*	31.9	15.9	16.0
King county South Plant*	16.6	11.3	5.3
King County West Point Plant*	18.7	17.6	1.1
LACSD San Jose Creek WEP*	9.3	0.1	9.2
LACSD JWPCP*	26.0	10.0	16.0
Littleton/Englewood*	24.3	6.5	17.8
This study	84.5	28.5	56

* From Wahlberg, E. J., et al.(2006)

Table 4. Average E_{TSSMAX} estimates made from data collected during this study.

E _{TSSMAX} in Eq.(2) (during Settling Velocity Distribution Test) (%)	E _{TSSMAX} in Eq.(2) (from Table 2) (%)	E _{TSSMAX} in Eq.(8) (%)
75.7	76.5	59.8

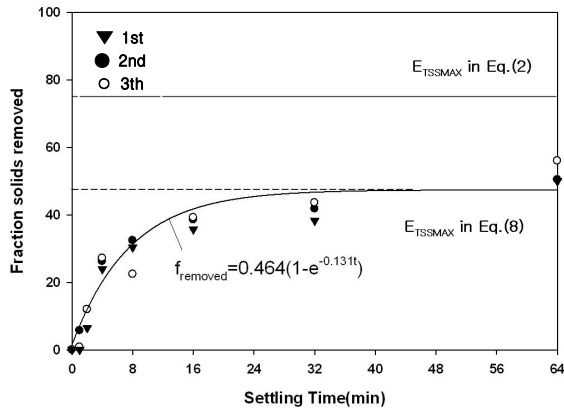


Fig. 4. Results from settling velocity distribution test performed in August, 2008

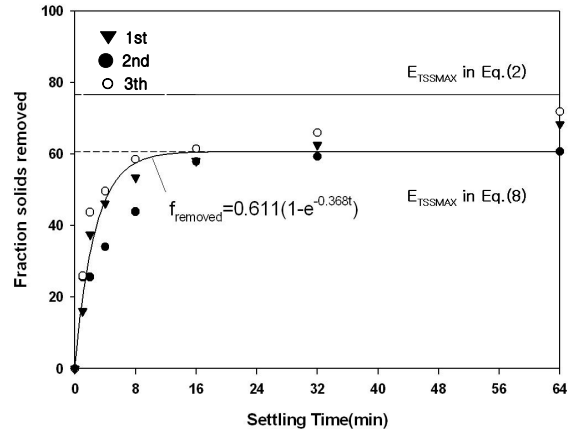


Fig. 5. Results from settling velocity distribution test performed in September, 2008

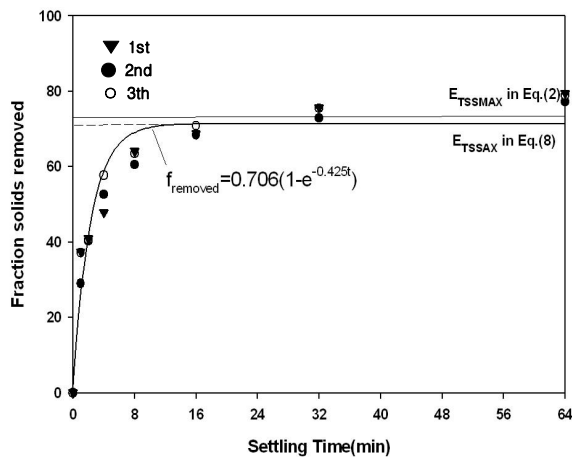


Fig. 6. Results from settling velocity distribution test performed in October, 2008

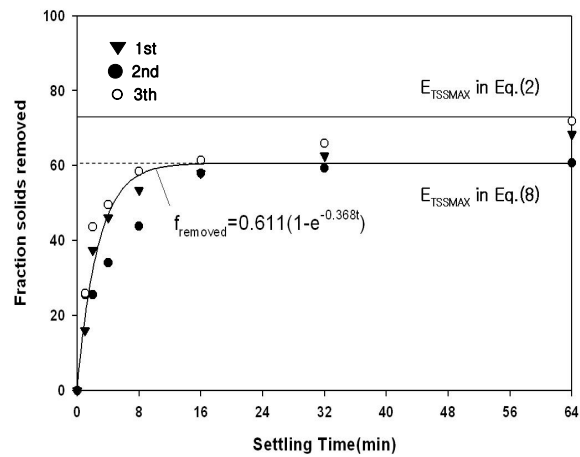


Fig. 7. Results from settling velocity distribution test performed in November, 2008

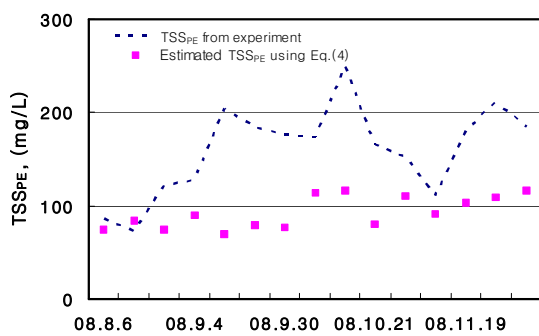


Fig. 8. Comparison of measured and estimated TSS_{PE} concentrations using the equation (4). λ in equal to $73 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ estimated for settling velocity distribution tests.

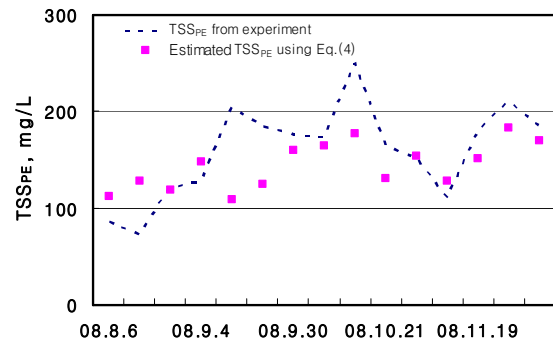


Fig. 9. Comparison of measured and estimated TSS_{PE} concentrations using the equation (4). λ in equal to $33.3 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ estimated for settling velocity distribution tests.

5. 결 론

분류식 하수를 처리하는 S 하수처리장의 1차 침전지 유입수와 처리수 TSS 농도를 분석하여 조사한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 본 실험을 통해서 S 하수처리장의 일차침전지의 평균 TSS 제거효율은 51%, 최대 제거효율은 76.5%로 나타나, 일반적으로 설계에 적용되는 60%의 TSS 제거효율이 타당성이 있는 것으로 파악되었다.

2. 실험결과 자료분석을 통해서 TSS농도는 최대 84.5 mg/L가 더 제거될 수 있다고 판단되었으며, 그 중 응집에 의해 28.5 mg/L가 제거될 수 있고, 부적당한 수리적 요인이 해결되면 56 mg/L가 제거될 수 있는 것으로 나타났다.

3. 24시간 동안의 1차 침전지 유입수와 처리수 TSS 농도 패턴은 비슷하지만, 1차 침전지 제거효율은 일정하지 않는 것으로 나타났다.

4. 24시간 동안의 1차 침전지 유입수 TSS 농도는 변화가 있지만 침전가능하지 않은 TSS(TSS_{NON})농도는 비교적 일정한 것으로 파악되었다.

5. 일차 처리수 TSS 농도 예측에 사용되는 λ 값에 표준화된 실험방법이 개발되어 있지 않음으로 이 값을 정확하게 추정하기 위한 더 많은 연구가 수행되어야 한다고 판단된다.

감사의 글

본 연구는 2008년 경기대학교 학술연구비(일반연구과제) 지원에 의하여 수행되었음

참고 문헌

1. 환경부(2000), "수질오염공정시험방법".
2. 환경관리공단(2008), "2006 하수도통계", 한국상하수도협회.
3. 황규대, 김태경(2007), "생물학적 질소인 제거 공정에서 일차 침전지의 영향", *물환경공학회지*, 23(1), pp. 19~26.
4. Metcalf & Eddy(2003) "*Wastewater Engineering : Treatment and Reuse - Forth Edition*", McGraw-Hill, pp. 396~406.
5. Tebutt, T.H.Y. and D.G. Christoulas (1975). "Performance relationships for primary sedimentation", *Water Research*, **9**, 347.
6. Wahlberg, E. J., J.P. Crowley, H.Z. Gerges, G. Chesler, J. Kelley and L. Putnum (1998). "A whole plant approach to evaluating activated sludge treatment plant capacity, CD ROM *proceedings of the Water Environment Federation 71st Annual Conference & Exposition*", Water Environment Federation, Alexandria, Virginia.
7. Wahlberg, E. J., Brown P.E. Ph.D., Caldwell (2006). "*Determine The Effect of Individual Wastewater Characteristics And Variances on Primary Clarifier Performance*", Water Environment Research Foundation.