



Control strategy of primary clarifier operation in wastewater treatment plant during rainfall inflow

You, Kwang Tae^a · Kwon, Hyuk Jae^{b*}

^aCEO, UnU Incorporated, Seoul, Korea

^bAssociate Professor, Department of Civil Engineering, Cheongju University, Chungbuk, Korea

Paper number: 19-070

Received: 21 August 2019; Revised: 14 October 2019; Accepted: 14 October 2019

Abstract

The main feature of this paper is to provide a driving control strategy to improve the primary clarifier treatment efficiency in the initial rainfall inflow. With the recent development of IoT technology and sensing technology, the basis for operation control of wastewater treatment facilities has been improved. As a result of improving the efficiency of treatment of primary clarifier using on-line measurement results, it is possible to minimize the outflow of untreated sewage and contribute to the improvement of operation efficiency of wastewater treatment plants.

Keywords: Wastewater treatment plant, Primary clarifier, Double exponential model

초기강우 유입 시 하수처리시설 일차 침전지 운전제어 전략

유광태^a · 권혁재^{b*}

^a㈜유엔유 대표이사, ^b청주대학교 토목공학과 부교수

요 지

이 논문의 주요 특징은 초기강우 유입 시 일차 침전지 처리효율을 개선하기 위한 운전제어 전략을 제공하는 것이다. 최근 IoT 기술과 센싱 기술이 발전함에 따라 하수처리시설 운전제어를 위한 기반이 개선되고 있으며, 온라인 측정결과를 활용한 일차침전지 처리효율 개선에 따라 미처리 하수의 하천 유출을 최소화하고, 하수처리시설 운영효율 개선에 기여할 수 있다.

핵심용어: 하수처리시설, 일차 침전지, 침전 모델

1. 서 론

하수처리시설 일차 침전지는 유입하수내의 부유물질을 약 50% 제거하고, 합류식 하수도의 경우 강우시 미처리 하수를 추가로 처리하는 역할을 수행한다. 청천 시 일차침전지는 유입하수량 변동이 크지 않아 운영에 무리가 없으나, 강우에 의한 하수 유입량이 증가하는 경우에는 침전지 체류시간 감소 및 초기 강우내의 고농도 부유물질로 인하여 처리효율이 급격히 저하하게 되어 많은 공공하수처리시설에서는 강우 시 일차침전지 유입량을

제한하여 운영한다(Saman Co., 2007).

일차 침전지 운영효율 개선에 관한 연구는 유입하수량에 따른 일차 침전지 처리효율 분석(Kim, 2008)과 슬러지 계면 높이 변화에 따른 처리효율 평가와 같이 일차 침전지 처리효율 분석이 중심이다(Park and Song, 2004). 반면, 일차침전지 처리효율 개선을 위한 제어방안에 관한 연구는 많지 않았다. 이는 일차침전지 운전제어를 위한 온라인 부유물질 농도 측정 센서의 측정 신뢰도 문제로 자동제어에 어려움이 있었기 때문이다. 최근 유입 하수 내 부유물질 농도 측정을 위한 온라인 계측기의 성능 향상에 따라 일차 침전지 성능 향상을 위한 기반이 조성되었다. 본 연구에서는 침전모델을 이용하여 청천

*Corresponding Author. Tel: +82-43-229-8473
E-mail: hjkwon@cju.ac.kr (H. J. Kwon)

시 및 초기강우 시 하수처리시설 일차 침전지 운영효율 개선을 위한 자동제어 전략을 제시하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 대상시설 및 유입 하수

본 연구에서는 시설용량 20,000 m³/일 규모의 Y시 하수처리시설 일차 침전지를 대상으로 하였다. 대상시설 일차 침전지 설계 체류시간은 2.5시간이며, 중력식 원형 침전지로 설계되어 있다. 국내 대부분의 하수처리시설 경우 일차 침전지 유입수 부유물질(Total Suspended Solids, TSS) 농도를 실시간으로 측정하지 않으므로 강우 시 유입하수량 및 유입수질을 하수처리시설 벤치마크에 널리 사용하는 BSM1(Benchmark Simulation model no.1) 자료를 이용하였다(Alex *et al.*, 2008). BSM1은 하수처리공정 시뮬레이션을 위한 레퍼런스 유입유량, 수질 데이터 및 하수처리공정을 정의한 파일로써 같은 조건에서 시뮬레이션 결과를 비교하기 위해 실제 운전자료를 기초로 하여 만든 것이다. BSM1에 사용된 유입하수량 및 수질자료는 15분 단위로 14일간의 자료로 구성되어있으며, Fig. 1과 같이 강우 유입 시 변화하는 하수량 및 수질을 제공하고 있다. 평균 유입하수량은 19,745 m³/일이며, 10,000 m³/일에서 60,000 m³/일로 변화하고 있다. 유입 부유물질 평균농도는 200 mg/L 이며, 38 mg/L에서 692 mg/L로 초기강우 유입 시 급격히 상승하는 추세로 강우 유입에 따른 특성을 잘 나타내고 있다.

2.2 침전 모델 및 시뮬레이터

중력식 일차 침전지 동적 시뮬레이션 모델은 일차원 침전

모델(Takacs *et al.*, 1991)을 적용하였다. 적용 모델은 생물학적 반응이 발생하지 않는 double-exponential 침전 속도를 고려하는 모델로 중력식 일차침전지 및 생물학적 이차 침전지 동적 시뮬레이션에 가장 널리 사용되고 있다. 시뮬레이터는 MassFlow 3.0TM ((주)유엔유)을 이용하였다. MassFlow는 Fig. 1과 같이 정상상태 및 동적 시뮬레이션을 위한 소프트웨어로 하수처리시설 설계 및 운영최적화에 널리 사용되고 있다. 시뮬레이션은 침전지 층을 10개의 레이어로 구분하였고, Fig. 2와 같이 침전지 제어 모드를 3가지로 구분하여 시뮬레이션 하였다. 침전 모델 매개변수는 시뮬레이터 기본값을 사용하였다.

2.3 자동제어 전략

일차침전지 자동제어는 다음 Table 1과 같이 침전 슬러지 인발 유량을 30 m³/d로 항상 일정하게 유지하는 시나리오-1, 일차 침전지 유입유량이 설계 유량보다 증가하는 경우 10% 증가하고 설계 유량보다 감소하는 경우 5%씩 슬러지 인발량을 감소하는 시나리오-2와, 유입 부유물질 부하가 설계 부하보다 증가하는 경우 슬러지 인발량을 10% 증가하고, 유입부하가 설계 부하보다 감소하는 경우 슬러지 인발량을 5% 감소하는 시나리오 3으로 구성하였다.

3. 결과 및 고찰

Table 2에서 볼 수 있듯이 시나리오 1과 2는 평균 처리효율은 40%인 반면, 유입부하 제어를 수행하는 시나리오 3은 평균 제거효율이 48%로 우수하였다. 특히 강우 유입 시 처리수의 부유물질 농도가 시나리오 1과 2에 비하여 시나리오 3이 약

Table 1. Primary clarifier control scenario

Items	Scenario-1	Scenario-2	Scenario-3
Underflow rate	30 m ³ /d	Flow proportional control	Load proportional control
Control strategy	Continuous flow rate	if $Q_{inf} > Q_{design}$, increase 10%, if $Q_{inf} < Q_{design}$, decrease 5% of underflow Q	if load,inf > Load,design, increase 10%, if load,inf < load,design, decrease 5% of underflow Q

Table 2. Simulation results of TSS concentration of primary clarifier effluent by scenario

Contents	Effluent TSS, mg/L			Removal efficiency, %		
	Scenario-1	Scenario-2	Scenario-3	Scenario-1	Scenario-2	Scenario-3
Min	36	36	36	3.6%	4.3%	4.3%
Max	667	630	402	73%	68%	69%
Ave	127	126	103	40%	40%	48%
QUARTILE-1	54	65	70	27%	30%	42%
QUARTILE-3	171	164	129	55%	51%	56%
STDEV	69	64	36	16%	14%	10%
CV	0.55	0.51	0.34	40%	34%	22%

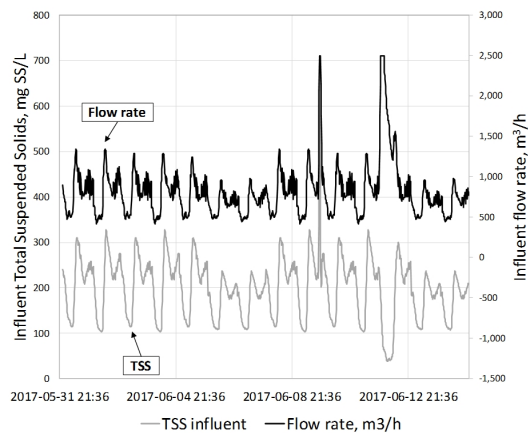


Fig. 1. Influent flow rate and TSS concentration of benchmark simulation model during the rainy season

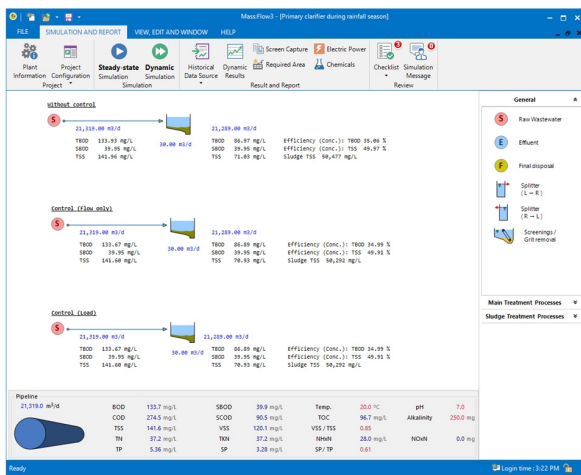


Fig. 2. Simulation layout of primary clarifier

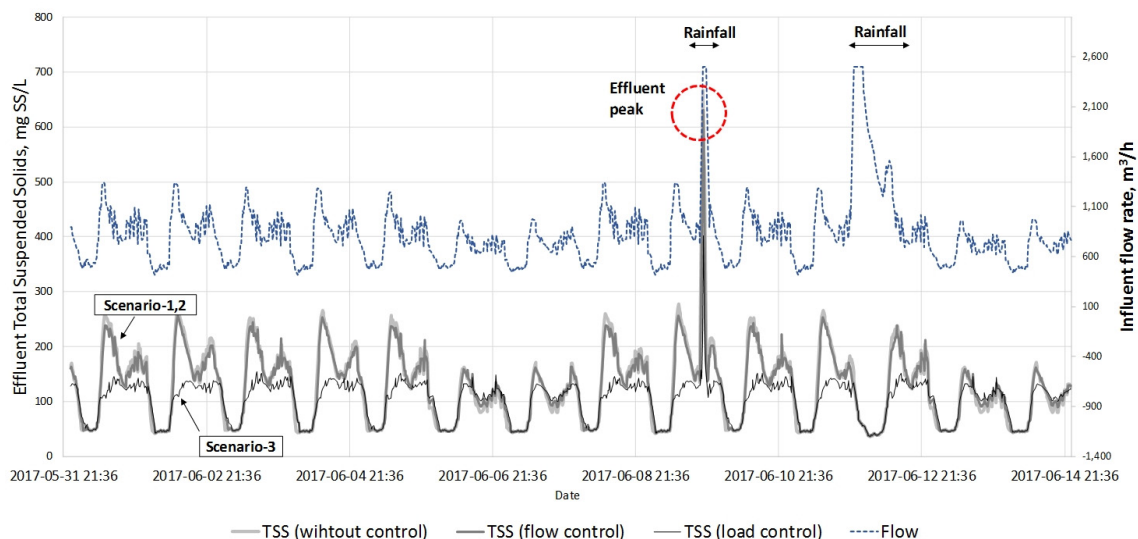


Fig. 3. Simulation results of TSS concentration of primary clarifier effluent by scenario

36% 개선되었다. 처리수의 부유물질 변동계수(CV)도 시나리오-3이 0.34로 시나리오-1(0.55) 및 시나리오-2(0.51)와 비교하면 우수하였다. 일차 침전지 처리수질이 크게 변화하는 경우 침전 슬러지 농도 또한 변화되어 침전슬러지 농축이 불리하게 되므로 침전 슬러지 농도변화가 일정한 것이 농축기 운전 유리하다.

하지만, 시나리오 3-의 경우 침전슬러지 인발량이 시나리오-1과 2에 비하여 45% 증가하므로 침전슬러지 농축 설비용량이 증가할 수 있다. 이를 해결하기 위해서는 청천 시에는 시나리오-2로 운전하고, 강우 유입이 증가하는 시간에는 시나리오-3으로 운전함으로써 슬러지 농축설비를 효율적으로 운영할 수 있다. Fig. 3과 같이 강우 시 시나리오-3으로 운전하는 경우 증가하는 슬러지 발생량에 대응하기 위하여 약 40톤 규모의 슬러지 저류시설을 확보하면 농축설비 증설 없이 운전이 가능한 것으로 분석되었다.

4. 결론

하수처리시설 일차침전지 운영효율 개선을 위한 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

첫째, 중력식 일차 침전지 운영효율 개선을 위한 슬러지 인발량 제어 방법은 유량비례제어만으로는 효과가 미미하며, 유입유량과 유입 부유물질 농도를 고려한 부하제어가 효과적인 것으로 분석되었다.

둘째, 부하제어를 수행하는 경우 슬러지 발생량이 증가하

므로 청천 시에는 유량비례제어를 수행하고, 유입부하가 증가하는 강우 시에는 부하제어를 수행하는 방법이 시설 투자비 측면에서 경제적이다.

셋째, 기존 하수처리시설 중력식 침전지 전단에 부유물질 농도 측정을 위한 온라인 계측기를 설치하고, 이미 측정되고 있는 유량자료를 활용하여 일차침전지를 제어하는 시스템은 구조가 간단하고, 분석을 위한 시약이 불필요하여 유지관리가 용이한 시스템이므로 실제 현장 적용이 용이한 장점이 있다.

References

- Alex, J., Benedetti, L., Copp, J., Gernaey, K. V., Jeppsson, U., Nopens, I., Pons, M-N., Rieger, L., Rosen, C., Steyer, J. P., Vanrolleghem, P., and Winkler, S. (2008). *Benchmark Simulation Model no. 1 (BSM1)*, CODEN:LUTEDX/(TEIE-7229)/1-62/(2008), pp. 12-13
- Kim, K. (2008). *A study on optimum management model for wastewater treatment plant according to increasing water inflow on rainy days*. Ph.D Dissertation, Department of Environmental Engineering, University of Seoul, pp. 84-85.
- Park, H., and Song S. (2004). "Estimations of efficiency for wastewater treatment plant with changing sludge height and increasing water inflow on rainy days." *Journal of Korean Society of Environmental Engineering*, Vol. 36, No. 8, pp. 549-558.
- Saman Co. (2007) *CSOs treatment plan in wastewater treatment plant*. Korea.
- Takacs, I., Patry, G., and Nolasco, D. (1991). "A dynamic model of the clarification-thickening process." *Water Research*, Vol. 25, No. 10, pp. 1263-1271.