

## 교반속도 및 Baffle 각도 조절에 따른 침전지 효율 최적화 연구

곽성근<sup>a</sup>, 김충곤<sup>b†</sup>

### A Study on the Optimization of Sedimentation Efficiency through Controlling Stirring Speed and Baffle Angle

Sung-Keun Kwak<sup>a</sup>, Choong-Gon Kim<sup>b†</sup>

(Received: Dec. 10, 2020 / Revised: Dec. 12, 2020 / Accepted: Dec. 14, 2020)

**ABSTRACT:** This study was conducted to improve the solid-liquid separation efficiency of clarifiers. To do so, the study did a bio-flocculation experiment simply by controlling the stirring speed (rpm) and baffle angle of a clarifier on a lab scale, but without using a coagulant. For the purpose of the experiment, the feed wall of a clarifier was so improved that a baffle could be installed on the clarifier. Then, it was ensured to change its stirring speed (to 0.0rpm, 0.6rpm, and 1.2rpm), with the angle fixed at 10°. As a result, it was found that concentration efficiency increased by 2.0%, and effluent removal efficiency (SS concentration) by 7.8%, at a stirring speed of 0.6rpm. This indicates the bio-coagulation efficiency of sludge increased with changing stirring speeds. Then, the baffle angle of the sedimentation unit was changed to analyze how the changed baffle angle would affect the sedimentation of sludge. As a result, it was found that the compression of sludge interface was very effective at a baffle angle of 20°. It is hoped that these experimental findings will be useful in improving the sedimentation efficiency of circular clarifiers.

**Keywords:** Sedimentation unit, Bio-flocculation, Circular clarifier, Baffle, Stirring speed

**초 록:** 본 연구에서는 원형침전지의 고액분리 효율을 향상시키기 위해 응집제 없이 lab scale 침강장치에 교반속도 (rpm)와 baffle 각도를 조절하여 생응집(bio-flocculation) 실험을 수행하였다. 피드 웰(feed wall)부분을 개량하여 baffle 를 설치하고 각도(10°)를 고정한 후 각각의 교반속도(0.0rpm, 0.6rpm, 1.2rpm) 변화에 따른 실험 결과 교반속도 0.6rpm 에서, 농축효율이 2.0%, 유출수(SS 농도) 제거효율은 7.8% 상승되는 것으로 분석되어 교반속도에 따른 슬러지의 생응집 효율 향상을 확인할 수 있었다. 또한, 침강장치 baffle의 각도를 변화시켜 슬러지 침강특성 영향을 분석한 결과 baffle 각도 20°에서 슬러지 계면층의 압축이 매우 높게 나타났다. 본 연구결과는 원형침전지의 침전 효율 향상을 위한 기초 인자로 활용이 기대된다.

**주제어:** 침강장치, 생응집, 원형침전지, Baffle, 교반속도

<sup>a</sup> 도화엔지니어링 플랜트부 부장(General Manager, DOHWA Engineering Co., Ltd)

<sup>b</sup> 고등기술연구원 바이오자원순환센터 책임연구원(Principal Researcher, Bioresource Center, Institute for Advanced Engineering)

† Corresponding author(e-mail: choonggon@gmail.com)

## 1. 서론

최근 하수관로의 관거 정비와 보급률 증가로 인하여 하수처리 유입량 및 유입 하수 농도는 지속적으로 증가되고 있어, 점차 기존처리시설로 처리가 어려운 현실에 있다<sup>1)</sup>.

일반적인 기존 하수처리시설의 생물학적 처리공정은 생물반응조와 침전지 등으로 구성되어 있으며 생물반응조내 공정 구성 및 제어가 처리수질 효율에 중요한 역할로 작용되고 있으나 최종침전지의 침강효율에 따라 최종방류수에 미치는 영향이 매우 크다.

최종침전지 형식은 크게 장방형·원형 침전지, 경사판침전지로 구분되고 침전지 특징에 따른 다양한 연구<sup>2,3)</sup>가 보고되고 있으나, 고품물부하에 따른 침전 성능 저하에 대한 해결방안이 부족해 기존 침전지는 슬러지 침전 효율에 한계가 있는 실정이다<sup>4,5)</sup>.

이에 따라 슬러지 침강 효율 한계에 대처하기 위해 미생물농도(MLSS, Mixed Liquor Suspended Solid)를 높여 운전하는 다양한 기술(막분리 등)이 개발되어 적용되고 있으나<sup>5,6)</sup>, 에너지 소비가 크고 설치비 및 유지비가 높고, 제한된 부지내서의 처리효율 향상에 한계점을 나타내고 있다<sup>7,8)</sup>.

따라서 제한된 부지내 다양한 고품물 특성에 적용 될 수 있는 부지 집약형, 고효율 고액분리침전 장치의 연구가 필요한 상황이며, 기존 중력식 원형침전방식을 이용하는 하수처리시설 고도처리공정 기술에 유입부하 및 미생물 농도를 높일 경우 설계를 초과하여 침전효율이 저하되는 문제가 발생됨에 따라 본 연구는 기존 원형침전지 내부(feed well)에

baffle형 침강장치를 설치하여 기존 원형침전지의 용량부족 문제점을 해소하고 최근 강화된 최종방류수 수질의 안전성을 높이기 위한 슬러지 침강 효율 향상을 위한 기초연구를 하고자 한다.

## 2. 실험 장치 및 방법

### 2.1. 실험 장치

본 연구에 사용된 lab scale 침강장치의 용량은 1.0 m<sup>3</sup>/d이며, 외통의 규격은 하수도 시설 기준<sup>9)</sup>를 적용하여 제작하였고, 침전지의 세부 제원은 Fig. 1과 같다. 슬러지의 침강효율을 검토하기 위하여 하부에서 140.0 mmH 지점에 회전과 각도 조절형 baffle을 설치하였다. 또한 침전지 안의 위치 간 슬러지 침전상태를 파악하기 위해 5개 지점에 샘플링 밸브를 설치하여 유입 슬러지 침강특성과 침전 효율, SS 배출농도 변화 관찰이 가능 하도록 하였다.

육안으로 침전지 내부 모습을 관찰하기 위해 투명 아크릴소재를 사용하였으며, 슬러지 저장탱크에 슬러지 혼합을 위해 산기식 교반장치를 설치하였고, 정량 주입을 위해 전자식 유량펌프를 사용하였다.

### 2.2. 유입시료 농도

하수처리시설 생물반응조의 미생물농도(MLSS, Mixed Liquor Suspended Solid)는 2,500 mg/L~4,000 mg/L 범위에서 운전되며, 생물반응조 미생물이 침전지에 유입된다. 이때 생물반응조의 미생물농도(MLSS)에 따라서 처리수 제거 효율 및 반송농도 침전효율 차가 발생 될 수 있으므로 현장과 일관성 있는 data

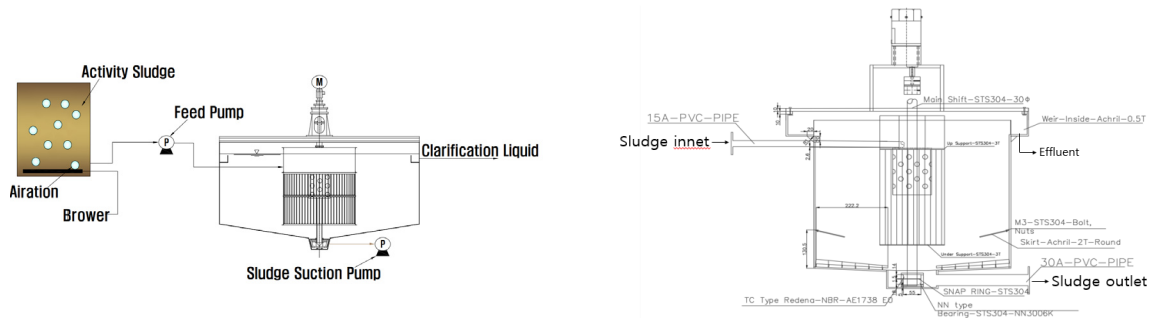


Fig. 1. Schematic diagram of a settling tank.

Table 1. Concentrations before and after the Dilution of Samples

Item	before dilution concentration (mg/L)	after dilution concentration (mg/L)
MLSS	8,300	2,500
SS	8,920	2,763

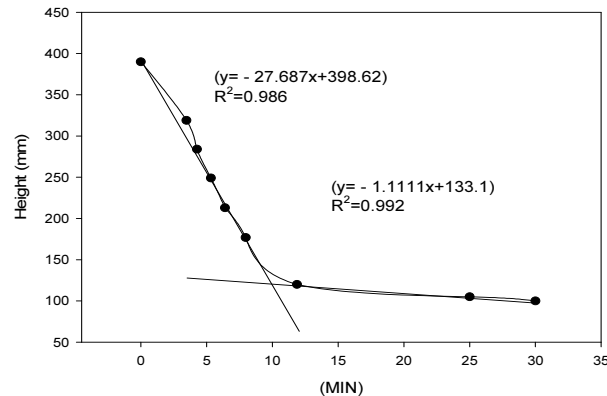
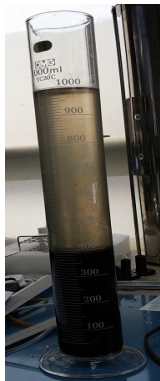


Fig. 2. Settling property of influent sludge.

를 도출하기 위해서 Table 1과 같이 A STP의 최종 침전지의 반송슬러지 MLSS 농도를 8,300 mg/L에서 2,500 mg/L으로 희석하여 실험에 사용하였다.

### 2.3. Lab Scale 침강장치 생응집 실험

Lab scale 침강장치(1.0 m<sup>3</sup>/d) 실험은 생응집(bio-flocculation) 가능 여부를 확인하기 위해 각 지점별 슬러지 거동 특성 분석 실험을 하였다. 이를 위해 lab scale 침강장치 내에서 유입유량(0.362 m<sup>3</sup>/hr), 반송량(0.18 m<sup>3</sup>/hr), 슬러지 반송율(50%)을 반영하여 운전하였으며, baffle의 각도는 10° 고정된 후 0.0 rpm, 0.6 rpm, 1.2 rpm 단계별로 1시간마다 샘플링하여 처리수의 SS 및 반송슬러지의 농도를 분석 하였다. 또한 baffle의 각도를 45°에서 20°까지 변화시켜 슬러지 계면층의 높이를 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 유입시료(SVI) 측정 결과

활성슬러지의 침전특성을 나타내는 슬러지용적지수(SVI, Sludge Volume Index)는 최종침전지에서 슬러지의 침강성을 알 수 있는 중요한 지표로서 슬

러지의 침강 농축성을 나타내며, 슬러지 팽화(sludge bulking) 여부를 확인하기 위해 보통 SVI가 50~150일 때 침전이 양호하다고 하며, 200이상이면 슬러지 팽화가 발생되어 운전이 어려워진다<sup>10)</sup>.

$$SVI = \frac{30\text{분간 침강된 슬러지 부피 (ml/L)}}{MLSS\text{농도 (mg/L)}} \times 1,000$$

lab scale 침강장치에 사용되는 시료의 생응집(bio-flocculation) 실험 시 사전에 팽화유무를 확인하여 문제가 없는 정상 시료를 사용하기 위한 목적으로 실험을 수행하였다.

유입슬러지의 침강특성 측정결과 침강장치의 독립 및 지역침전 특성에 대한 시간은 약 8분으로 나타났으며, 이때의 슬러지 높이는 177.0 mm를 나타냈다. 압밀침전 후의 슬러지는 SV<sub>30</sub> 측정 시간인 30분을 최종으로 하였을 때 압밀침전에 대해서 22분 정도 소요되었으며, 이때의 슬러지 계면높이 100.0 mm에서 부피는 280 ml를 나타냈다. 즉, lab scale 침강장치 유입 슬러지의 SVI가 112.0를 나타내어 정상적인 시료인 것으로 분석 되었으며, 이때의 독립침전의 침전특성을 보이는 침전속도에 대한 수식과 4형 압밀 침전특성을 보이는 수식에 대한 신뢰성은 Fig. 2와 같다.



Fig. 3. Changes in sludge concentration with the changing heights of a settling tank.

### 3.2. Lab Scale 침강장치의 침강성 변화

Lab scale 침강장치의 침강성 변화를 육안으로 확인하기 위해 침강장치는 투명 아크릴로 제작하였고 높이별 슬러지 층 확인을 위해 상부부터 하부까지 5개의 샘플링 밸브를 만들어 30분간 침강변화를 확인하였다. 육안 확인 결과 Fig. 3과 같이 상부층은 투명한 반면 하부층으로 갈수록 슬러지 농도가 짙어짐을 확인 할 수 있었으며, 이를 통해 실험에 적용된 Lab scale 침강장치가 슬러지 침강장치로서 적용이 가능한 효율적인 장치임을 알 수 있었다.

### 3.3. Lab Scale 침강장치 슬러지 거동 분석

Lab Scale 침강장치 실험은 고정 각도( $10^\circ$ )와 교반속도(rpm)에 따른 생응집 가능 여부를 확인하기 위해 각 지점별 슬러지 거동특성 분석 실험을 한 결과는 Fig. 4와 같다. 각각의 MLSS 농도 및 교반속도에 따라 4,460 mg/L(0.0 rpm), 4,550 mg/L(0.6 rpm), 4,300 mg/L(1.2 rpm)의 조건에서 실험을 수행하였으며, 교반속도 0.6 rpm에서 가장 높은 침전효율을 나

타냈으며, 교반속도 1.2 rpm 이상에서는 침전효율이 감소되는 것으로 나타났다. 이는 교반속도 1.2 rpm 이상에서는 슬러지의 교란에 의한 침전효율 감소가 원인인 것으로 사료된다. 또한, 이때의 유출수의 SS 농도 분석결과 각각의 교반속도에 따라 19.0 mg/L(0.0 rpm), 17.5 mg/L(0.6 rpm), 21.0 mg/L(1.2 rpm) 농도를 나타냈으며, 교반속도 0.6 rpm에서 유출수 농도의 SS가 가장 낮게 나타났다. 또한 최적의 교반속도인 0.6 rpm에서 농축효율 2.0%, 유출수 제거효율은 7.8% 상승되는 것으로 나타났다. 이는 슬러지 침전을 위한 교반속도는 생응집 활성화에 주요한 인자이며, 교반속도에 따른 침전효율과 유출수(SS 농도) 제거효율은 서로 큰 상관성을 가지고 있는 것으로 판단된다.

### 3.4. 슬러지 계면층 분석

침전지내 물리적 변화를 관찰하기 위해 침강장치 baffle의 각도를 변화시켜 일정 시간별로 슬러지 계면층을 측정하여 슬러지 침강특성에 미치는 영향을

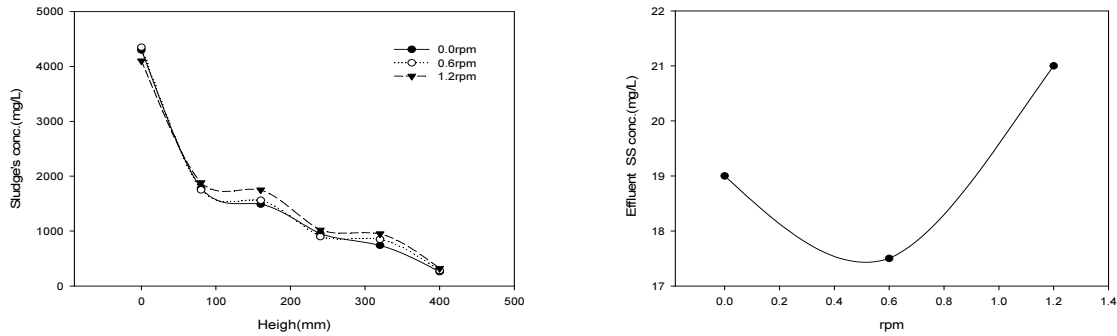


Fig. 4. Sediment (MLSS) & effluent (SS) concentrations at different sampling locations and rotation speeds.

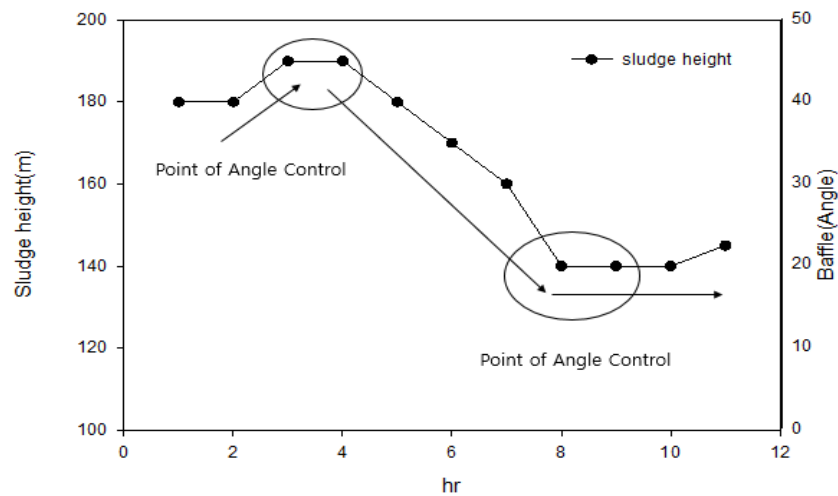


Fig. 5. Changes in sludge interface height with varying angles.

파악하는 실험을 하였다. 실험결과 Fig. 5 및 Fig. 6과 같이 침전지내 계면높이 180cm 지점에서 baffle의 각도를 45°로 변동시키면 슬러지 계면 높이는 190 cm로 교란되는 것으로 분석되었고, baffle 각도를 45°에서 20°까지 변화시켜 측정된 결과 계면높이는 baffle 각도 20°에서 140 cm까지 압축되는 것으로 측정되었다. 이를 통해 최적의 baffle 각도는 20°이며, baffle 각도의 최적화를 통해 슬러지 압밀을 촉진시킬 수 있으며, baffle 각도는 침강장치의 슬러지 침강효율을 높일 수 있는 인자로 활용 가능할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구는 기존 원형침전지의 슬러지 침강효율성

을 높이기 위해 입자상물질을 자체적으로 응집시킬 수 있도록 피드 웰(feed wall) 부분 개량으로 SSVI (Stirred Sludge Volume Index) 측정원리인 침강장치를 원형침전지내 적용하여 생응집(bio-flocculation) 효율을 높이기 위한 실험을 수행하였으며, 본 연구 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. 피드 웰(feed wall)부분을 개량하여 baffle를 설치하고 각도(10°)를 고정된 후 각각의 교반속도(0.0 rpm, 0.6 rpm, 1.2 rpm) 변화에 따른 실험을 하였으며, 교반속도 0.6 rpm에서, 농축효율이 2.0%, 유출수(SS 농도) 제거효율은 7.8% 상승되는 것으로 분석되어 교반속도에 따른 슬러지의 생응집 효율 향상을 확인할 수 있었다.
2. 또한 침강장치 baffle의 각도를 변화시켜 슬러지 침강 특성 영향을 분석한 결과 baffle 각도

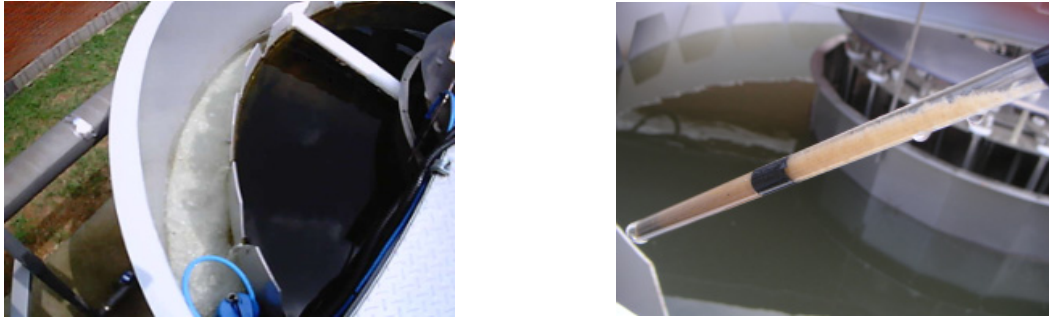


Fig. 6. Photo view of sludge interface measurement.

20°에서 계면높이 압축이 매우 높게 나타났다. 이를 통해 최적의 교반속도와 baffle의 각도는 슬러지층의 압밀을 촉진시키는 주요 영향 인자임을 확인 할 수 있었다.

슬러지 침강효율은 물과 부유입자를 중력침전으로 분리하는 공정으로 하·폐수처리시설에서 널리 사용되는 단위조작이며, 교반을 통해 운반 및 슬러지 처리가 용이하도록 만드는 목적도 있지만 부유물질의 고액분리로 상징액을 깨끗이 하는 목적도 가지고 있다. 본 연구결과는 피드 웰(feed wall)부분을 개량하여 baffle을 설치한 원형침전지의 상용화시 슬러지 침강효율과 유출수 제거효율을 높이는 데 기초 인자로 활용이 가능할 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 국토교통부 플랜트연구사업(과제번호 20UGCP-B157945-01)의 연구비 지원을 받아 수행되었습니다.

## References

1. Jang, H. G., Cho, Y. M. and Kim, C. W., "Evaluation of water treatment characteristics at the improved circle secondary settling basin", *Journal of Korean Society Water and Wastewater*, 28(5), pp. 609~614. (2014).
2. Kim, Y. C., Lee, J. W. and Kang M. G., "Morphological Parameters of the Sludge Floes in a Long Rectangular Secondary Settling Tank", *Journal of Korean Society on Water Quality*, 22(3), pp. 468~474. (2006).
3. So, S. H., Lee, B. H., Park, J. H., Cha, H. Y., Kim, H. S. and Song, K. G., "Improvement of dewaterability and settleability of sewage sludge using coagulation sludge", *Journal of the Korean Society of Water and Wastewater*, 32(2), pp. 89~96. (2018).
4. Lee, H. K., "A Study on the Settling Characteristics of Domestic Wastewater", *Journal of the Korean Society of Environmental Technology*, 14(3), pp. 190~197. (2013).
5. Lee, B. H., "Evaluation of bioflocculation and settling characteristics for MLSS from a Biological Nutrient Removal Plant", *Journal of Korean Society of Water and Wastewater*, 22(2), pp. 219~225. (2008).
6. Hyun, J. Y., "A Study for the Characteristics of Sewage Bioflocculation and Settling in the Secondary Sedimentation Basin", University of Incheon, M.S. Thesis, p. 2, (2009).
7. Rhu, D. H. and Chio, E. S., "Evaluation of Solids Loading Rates Concerned with Activated Sludge Settling Characteristics in Secondary Clarifier", *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(4), pp. 599~605, (2000).
8. Dupont, R. and Dahl, C., "A one-dimensional model for a secondary settling tank including density

- current and short-circuiting”, *Wat. Sci. Tech.*, 31(2), pp. 215~224. (1995).
9. Korea Ministry of Enviroment, Sewerage facility standards, (2011).
10. Kim, S. P. and Kim, Y. K., “Sedimentation Assesment of Sludge for Reduction Measuring Time and Volume of Device in SVI”, *KSWST Journal of Water Treatment*, 24(5), pp. 49~58. (2016).