

플러크기를 이용한 응집공정 진단에 관한 연구

정진홍^{1*}, 최계운², 박재로¹

¹한국건설기술연구원 환경연구실, ²인천대학교 건설환경공학과

Study of the Floc Size Distribution for the Efficiency Assessment of Flocculation Process in Water Works

Jin-Hong Jung^{1*}, Gye-Woon Choi², Jae-Roh Park¹

¹Environmental Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

²Dept of Civil & Environmental Engineering, Incheon University

요 약 정수처리공정 중 응집공정의 효율을 평가하기 위하여 Floc Size 분포를 분석하여 응집공정의 효율 평가를 수행하였다. 응집 효율은 탁도를 기준으로 평가하는 방법보다 응집 상태를 직접 평가하는 Floc의 크기 및 개수를 분석하여 정량화하는 기법을 제시하였다. 원수의 탁도 분포에 따른 Floc의 성장 상태를 분석하였다. 응집지에서 원수 탁도가 5.0 NTU 내외로 유입되었을 경우 응집지 각 단의 G값이 각각 50 sec-1, 30 sec-1, 10 sec-1일 때 효율이 가장 높게 나타났으며, 원수 탁도가 263 NTU로 유입되었을 경우 G값을 각각 65 sec-1, 40 sec-1, 10 sec-1으로 운전한 경우 효율이 가장 높게 나타났으며, 이때 1200 μ m 이상의 Floc 개수는 약 14개로 분석되었다. G값에 따라 응집효율을 평가할 수 있는 지표인자로 Floc의 크기 및 개수로 공정 진단 수행이 가능할 것으로 판단된다.

Abstract An assessment of flocculation was performed by measuring the distribution of the floc size during sedimentation in water works. The size and number of flocs have a greater effect on an evaluation of the efficiency of flocculation rather than the turbidity. The data was collected in situ using particle image velocimetry and image analysis. The measurements were carried out at a water depth of 1m. The removal efficiency of the total organic compounds, UV absorbance and turbidity depended on the size and floc size distribution in flocculation as the G value. The G value of 50 sec-1, 30 sec-1 and 10 sec-1 showed the highest degree of efficiency in the case of an inlet water turbidity of 5 NTU, and the highest degree of efficiency was observed at a G value of 65 sec-1, 40 sec-1 and 10 sec-1 when the inlet water turbidity was 263 NTU. The number of flocs with a distribution of above 1,200 μ m was 14. The dynamics between two important growth mechanisms were investigated as the energy input changed. This is a certain method that makes use of the size and number of flocs as an efficiency assessment.

Key Words : Assessment, Distribution, Floc, Flocculation, Water Works

1. 서론

정수처리에서 응집공정은 응집제 주입 후 급속혼화를 통하여 입자의 충돌속도를 가속시킴으로서 전기적으로 불안정한 콜로이드입자를 침강성이 좋은 입자로 뭉치게 하는 것으로서, 고액분리 효율을 높여주는 중요한 공정이다. 응집공정에서 Floc 크기는 응집제 종류, 주입량, 교

반강도, 원수의 pH, 알칼리도, 수온 및 각종 물리적 작용 등의 영향을 받으며, 후속공정인 침전과 여과 효율에 큰 영향을 미친다[1-6].

우리나라 대부분의 정수장에서 사용하고 있는 급속여과에서 응집공정은 수중 입자제거의 측면에서 매우 중요한 공정이다. 그러나, 기존 정수장에서의 응집공정은 시설기준 등에서 제시한 주변속도를 조정하여, 육안으로

본 논문은 한국건설기술연구원 주요사업(마이크로그리드 스마트 용수관리 기술 개발)의 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Jin-hong Jung(KICT)

Tel: +82-31-910-0740 email: jinhong98@kict.re.kr

Received October 13, 2014

Revised November 24, 2014

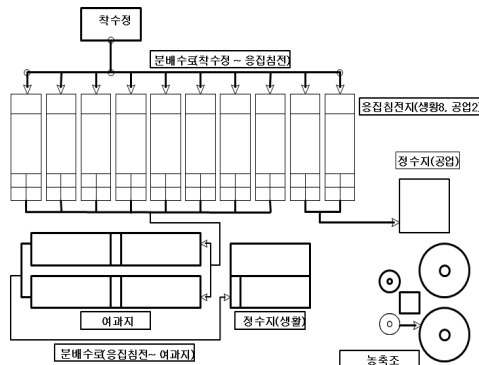
Accepted December 11, 2014

Floc의 성장 상태를 확인하고 있는 것으로 조사되었다. 또한, 모래여과공정의 전처리공정으로 간주되어 최적운전을 수행할 수 있는 가이드라인이나 적절성 여부를 판단하는 방법의 도입은 미미한 실정이다.

본 연구에서는 정수공정 운전자에게 응집지의 Floc 크기 분포를 이용하여 응집공정의 효율을 계량적으로 평가하고 최적운영 수행여부를 판단할 수 있는 진단기법을 제안하고자 하였다. 또한, Floc 크기 분포를 이용하여 응집제 주입량의 적정성 여부를 확인할 수 있고, 정수처리공정 중에서 응집의 효율을 감지하여 운전자에게 전달함으로써 운전의 비효율성을 줄이고 최적화된 운전을 도모하여 비용의 절감효과 등을 기대할 수 있는 진단 기법을 제공하고자 하였다[7].

2. 실험장치 및 방법

본 연구는 383,000 m³/d 시설용량의 안산시 Y정수장에서 진행하였다. 정수처리공정은 혼화/응집/침전공정과 급속여과공정 및 염소소독공정으로 구성되어 있다. Y정수장의 시설현황 및 유입원수 수질은 Fig. 1 및 Table 1과 같다. 실험 수행시 원수 수질은 pH 7.3, 온도 21℃, 탁도 50 NTU로 분석되었다. Y정수장 원수는 팔당 5,6단계 원수를 사용하고 있다.



[Fig. 1] Schematic diagram of Water Works

[Table 1] Status of Y Water Works

Classification	Spec.
Capacity(m ³ /d)	383,000
Coagulant Injection	Flash Mixing
Flocculation Type	Horizontal Paddle
Coagulants	PAC

2.1 Floc 크기 계측

Floc 크기 계측은 PAMAS사의 FSA-1000을 사용하였고, Sensor는 HCB-LD-900을 사용하였다. 계측기의 구성은 크게 Sampling부, Sensor, 입자계수기, DAQ(Data Acquisition) 4개부로 구성된다.

Sampling부는 플록을 손상시키지 않도록 하기 위하여 시료를 일정한 압력으로 서서히 흡입한 후 Sensor로 이송하도록 구성되었다.

Sensor는 구경(Orifice Size)이 9,000 μm $\times$ 9,000 μm 로서 30 μm ~ 2,500 μm 범위의 입자를 측정할 수 있다. 측정 유량은 500 ml/min이며, 최대측정농도는 120,000 개/L이다. Sensor는 ANSI/NFPA T 2.9.6R1-1990, ASTM F658-80에 따라 검교정을 수행하였다.

입자계수기는 PAMAS사 GmbH사 PAMAS-3116을 사용하였다.

DAQ는 Windows 기반에서 데이터를 처리하여 입자(Floc) 크기별 입자수를 누적데이터(Cumulative Size Distribution)와 개별데이터(Differential Size Distribution)를 처리하여 표시하도록 하였다.

2.2 실험방법

실험은 Floc 크기 계측기를 분배수로, 응집지 1단, 2단, 3단으로 각각 이동하면서 Floc 크기 및 개수 분포를 측정하여 응집공정에서 Floc 크기의 분포를 분석하였다. 측정된 Floc 크기 및 분포 변화를 모니터링하여 응집지에 적용된 G값의 적절성 평가를 수행하였다. 시료채취 지점은 다음과 같다.

- 분배수로 수심 0.3 m 지점
- 응집지 1단, 2단, 3단 수심 0.3 m 지점

총 8개 응집지(생활) 중 7지를 대상으로 G값을 변경하였으며, 변경 조건은 Table 2와 같다. 응집3지를 대표지로 선정하여 정수장 실시설계에서 제시한 G값을 설정하였다. G값의 변경에 따른 응집 효율을 판단하기 위하여 기타 응집지 각 단의 G값을 증감하여 실험을 수행하였다.

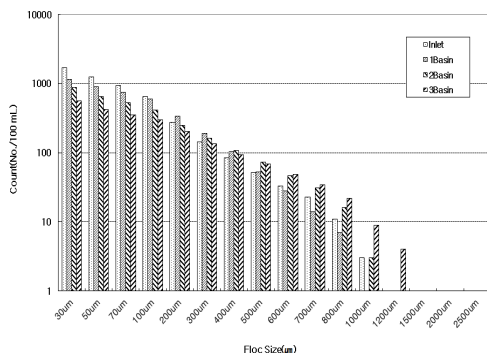
[Table 2] Fixing of G value in Flocculation Basin

	1 basin	2 basin (sec ⁻¹)	3 basin (sec ⁻¹)	4 basin (sec ⁻¹)	5 basin (sec ⁻¹)	6 basin (sec ⁻¹)	7 basin (sec ⁻¹)	8 basin (sec ⁻¹)	9 basin (sec ⁻¹)	10 basin (sec ⁻¹)
1 Step		50	50	50	50	0	45	60	40	50
2 Step	paused	30	30	30	0	30	20	40	20	40
3 Step		5	10	0	10	10	5	20	5	10

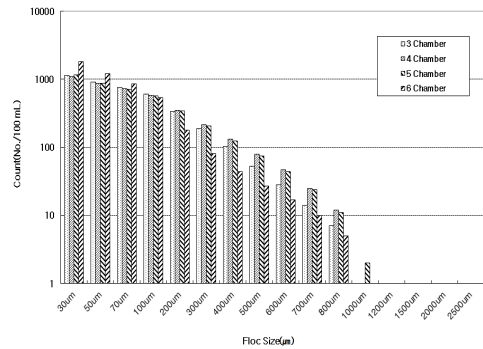
3. 실험결과 및 고찰

3.1 응집지(대표지) Floc 크기 및 개수분포

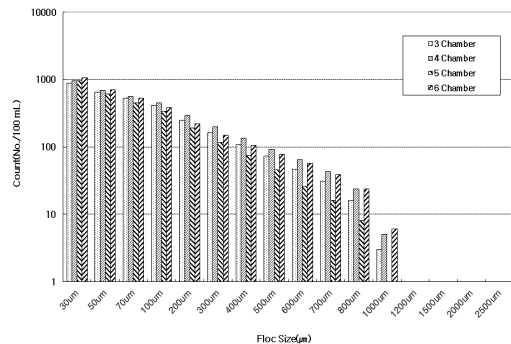
정수장 대표지로 선정한 응집지(3단)는 실시설계 기준에서 제시한 G 값 50 sec^{-1} , 30 sec^{-1} , 10 sec^{-1} 를 적용하여 운전하였다. 실험 기간 동안 연속 운전한 응집 3지 ~ 응집 7지에 대하여 Floc 크기 및 개수를 분석하였다. 대표 응집지로 선정한 3지 의 Floc 크기 및 분포는 Fig. 2와 같다. $30 \mu\text{m} \sim 200 \mu\text{m}$ 의 분포에서는 3단보다 응집지 전단에서 작은 크기의 Floc이 많이 나타난 것으로 분석되었다. $500 \mu\text{m}$ 이상에서는 후단인 3단에서 Floc 형성이 잘 이루어진 것으로 분석되었다. 정상적으로 운전한 대표지(3지)와 3단, 2단, 1단을 휴지 중인 4지, 5지, 6지를 각각 비교한 결과는 Fig. 3 ~ Fig. 5와 같다. $30 \mu\text{m} \sim 100 \mu\text{m}$ 의 분포에서는 대표지와 각 단을 운전하지 않은 응집지와 차이는 나타나지 않았다. 그러나, $300 \mu\text{m}$ 이상의 분포에서는 운전하지 않은 단에서는 Floc의 성장이 적절히 이루어지지 않은 것으로 분석되었으며, $500 \mu\text{m}$ 이상의 분포에서 Floc의 성장이 현저히 줄어드는 경향을 나타내었다. 1단을 운전하지 않은 6지의 경우 대표지인 3지와 큰 차이를 나타내지 않고 있으나, 2단 및 3단을 운전하지 않은 4지, 5지의 경우 $500 \mu\text{m}$ 이상의 분포에서 확연히 나타나고 있으며, Fig. 5에서와 같이 $1000 \mu\text{m}$ 분포에서는 대표지에서는 9개, 4지, 5지, 6지는 각각 3, 4, 4로 분석되어 배 이상의 격차를 나타내고 있다.



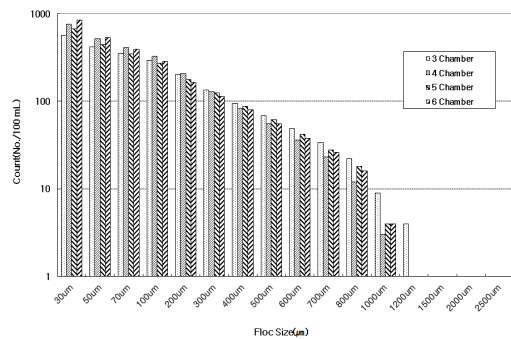
[Fig. 2] Floc Size Distribution of Each Basin in Flocculation Basin experimented



[Fig. 3] Floc Size Distribution of First Basin in Flocculation Chamber experimented



[Fig. 4] Floc Size Distribution of Second Basin in Flocculation Basin 0m, M< experimented



[Fig. 5] Floc Size Distribution of Third Basin in Flocculation Basin experimented

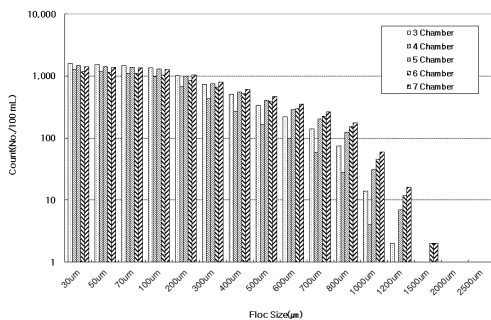
3.2 G 값 변경에 따른 Floc 크기 및 개수분포

각 응집지의 수류분배에 따른 응집지 전단의 Floc의 크기 및 개수분포는 Fig. 6과 같다. 2지와 8지는 혼화지로부터 가장 멀기 때문에 $30 \mu\text{m} \sim 500 \mu\text{m}$ 분포에서는 큰 차이를 보이지 않았지만, $600 \mu\text{m}$ 이상에서는 Floc이 많이 성장한 것으로 분석되었다. G 값 변경에 따른 응집지 3단

의 Floc 크기가 800 μm 이하에서는 G값 변경에 큰 영향을 받지 않은 것으로 나타났으나, 1000 μm 분포에서는 대표 지로 선정된 3지와 7지에서 각각 9개, 8개로 분석되어 평균 4개로 분석된 기타 응집지보다 2배 이상의 Floc 형성을 나타내었다. 특히, 1200 μm 분포에서는 기타 응집지에서는 Floc의 성장이 전혀 나타나지 않고 있는데 반해 3지와 7지에서는 Floc이 각각 4개, 3개로 분석되어 응집의 효율이 우수한 것으로 분석되었다. G값 변경 실험 기간 동안 침전지 유출수의 탁도는 평균 0.6 NTU, 최소 0.5 NTU, 최대 0.7 NTU로 분석되었다[8].

[Table 3] Fixing of G value in Flocculation Basin

	3 basin (sec^{-1})	4 basin (sec^{-1})	5 basin (sec^{-1})	6 basin (sec^{-1})	7 basin (sec^{-1})
1 Step	50	50	50	0	45
2 Step	30	30	0	30	20
3 Step	10	0	10	10	5



[Fig. 6] Floc Size Distribution as Flow Form in Each of the Flocculation Basins

4. 결론

Floc 크기 개수 및 분포를 측정한 결과, 응집공정 분배수로에서는 혼화지로부터 멀어질수록 상대적으로 큰 Floc이 증가하고 작은 Floc이 감소하는 현상이 발생하였다. 이러한 결과는 응집지별 G값을 다르게 적요하여 운영하거나, 분배수로를 적절히 개선할 필요가 있음을 나타낸다. 응집지에서는 1단에서 3단으로 갈수록 큰 Floc이 증가하고 작은 Floc이 감소하는 경향을 나타내었다.

G값 변경에 따른 Floc 형성은 적절한 속도경사 조건에서 입경이 큰 Floc이 상대적으로 많이 형성되었으며, 적절한 G값보다 크거나 작은 속도경사에서는 입경이 큰

Floc의 형성이 줄어드는 경향을 나타내었다. 수온변화에 따른 Floc의 크기 및 분포를 확인하기 위해서는 추가 실험이 이루어져야 한 것으로 판단된다. 본 실험 기간 동안의 침전지 유출수의 탁도는 평균 0.6 NTU, 최소 0.5 NTU, 최대 0.7 NTU로 분석되어 Floc 크기에 의한 효율 분석이 단순히 침전수 유출 탁도 분석에 의한 효율 평가보다 오히려 유기물에 의한 평가를 동시에 진행하여야 할 것으로 판단된다.

References

- [1] Ministry of Environment, Criteria of Waterworks, 2007.
- [2] Tao Lia, Zhe Zhu, Dongsheng Wang, Chonghua Yao, Hongxiao Tang, "Characterization of floc size, strength and structure under various coagulation mechanisms", *Powder Technology*, Vol. 168, pp.104-110, 2006.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.powtec.2006.07.003>
- [3] Gilhyun Ga, Hyunsung Jang, Youngbeom Kim, Jong woon Kwak, "On-Line Monitoring of the Floccs in Mixing Zone using iPDA in the Drinking Water Treatment Plant", *Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 31, No. 4, pp.263-271, 2009.
- [4] Junho Ji, Jungho Hwang, Kyoowon Lee. "Analysis of Coagulation Between Charged Particles Using Moment Method", *The Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 23. No. 4, pp.431-442, 1999.
- [5] Jinman Kim, Jaeho Lee, Youngbeom Kim, "Effect of Floc Sizes and Distribution for Sedimentation Efficiency in the Drinking Water Plant Using iPDA System", *Korean Society on Water Environment*, Vol. 2009, pp.443-444, 2009.
- [6] Gwanjo Jeong, Kyeongwoo Lee, Hyunhee Kim, Euisun Jeong, Hyeon Park, Sunhee Han, "Improvement of Quality in Treated Water by the pH Adjustment of Raw Water", *Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 32, No. 5, pp.469-476, 2010.
- [7] Jinhong Jung, Hyunje Oh, Taemun Hwang, "Application of Floc Size Analyzer for the Efficiency Assessment of Flocculation Process", *Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 2006, pp.1309-1312, 2006.
- [8] Gilhyun Ga, Hyunsung Jang, Youngbeom Kim, Jongwoon Kwak, "On-Line Monitoring of the Floccs in Mixing Zone using iPDA in the Drinking Water Treatment Plant", *Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 31. No. 4, pp.263-271, 2009.

정 진 홍(Jin-Hong Jung)

[정회원]



- 2002년 7월 : 인천대학교 (토목환경공학 석사)
- 2012년 2월 : 인천대학교 (건설환경공학 박사수료)
- 1994년 1월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 환경연구실 수석연구원

<관심분야>

상하수도, 도시물순환, 비점오염, 자동제어

최 계 운(Gye-Woon Choi)

[정회원]



- 1985년 2월 : 서울대학교 (공학석사)
- 1991년 5월 : 미국 콜로라도주립대 (공학박사)
- 1994년 8월 ~ 현재 : 인천대학교 도시환경공학부 교수
- 2013년 11월 ~ 현재 : 한국수자원공사 사장

<관심분야>

수자원, 도시하천, 도시홍수

박 재 로(Jac-Roh Park)

[정회원]



- 1998년 2월 : 홍익대학교 (토목공학 석사)
- 2005년 2월 : 홍익대학교 (토목환경공학 박사)
- 1990년 7월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 환경연구실 연구위원

<관심분야>

하천수질, 도시 물순환, 해수담수화