

## PASS-100을 이용한 응집처리시 물리·화학적 인자의 영향

이상일·서인석·박승국

충북대학교 환경공학과

### Effect of Physicochemical Parameter on PASS-100 Flocculation

Sang Ill Lee·In Seok Seo·Seung Kook Park

*Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University*

#### Abstract

In this research, effect of physicochemical parameter on flocculation using PASS-100 were evaluated. pH, flocculant dosage, mixing intensity and detention time were adopted as experimental variables. The physicochemical parameter(pH, mixing intensity and mixing time) were important parameter on flocculation performance. Effluent pH range for effective flocculation was 4.5-7. Optimum  $Gt_s$  range was 20,000-30,000 and its range similar to alum flocculation. Rapid mixing was very important parameter to floc formation in PASS-100 flocculation. Whereas, slow mixing did not affect to the removal efficiency at settling time for 30minute or more.

#### I. 서론

응집처리 공정은 폐수나 상수처리에서 부유 물질을 제거시 가장 널리 이용되는 공정이다. 폐수의 특성, 응집제의 종류 및 첨가농도, pH 및 혼합조건 등은 응집처리공정에 있어서 중요한 영향인자이다. 응집처리시 이러한 영향인

자들을 최적화하여 운영함으로써 응집제의 과다한 사용으로 인한 비용을 크게 절감시킬 수 있다. 특히, 혼합강도와 관련된 물리화학적 변수는 응집에 상당히 중요함이 여러 연구자들에 의해 보고된 바 있다.<sup>1), 2), 3), 4), 5)</sup> 응집효율은 입자의 충돌횟수에 의해 크게 좌우된다. 즉, power input이 증가함에 따라 혼합강도가 증

가함으로서 응집제의 확산을 증가시키고, 입자의 충돌횟수를 증가시켜서 응집효율을 향상시킨다. 그러나, 과다하게 큰 혼합강도에서는 기응집된 입자가 전단응력의 영향을 받아 응집물이 부서진다. 따라서 혼합강도는 floc을 파괴하지 않는 범위에서 유지되어야 한다. 사용되는 응집제에 따라 형성된 floc의 shear resistance는 다르기 때문에 혼합조건을 적절하게 유지시켜 주어야 한다. 많은 연구자들의 연구에 의하면 입자의 제거효율은 혼합강도(G)와 혼합시간( $t_m$ )의 곱인  $Gt_m$ 값과 좋은 상관관계가 있으며 응집제의 종류에 따라 최적  $Gt_m$ 값은 다름이 보고되었다.<sup>1), 6), 7), 8)</sup> 알루미늄, 철, 마그네슘 등의 수산화물에 의한 응집물은 쉽게 부서지는 경향이 있으므로 혼합강도를 낮게 유지해야만 한다. 반면에 유기고분자 응집제 및  $CaCO_3$ 에 의한 응집물은 단단해서 보다 큰 혼합강도가 적합하리라 사료된다. 따라서, 응집제의 종류에 따라 최적  $Gt_m$ 값을 비롯한 영향인자의 검토가 이루어져야 한다.<sup>9), 10), 11)</sup>

본 연구의 목적은 PASS-100을 이용한 응집처리시 가장 경제적이고 효과적인 응집처리를 위해 첨가농도, 초기 pH, 초기 고속 및 후기 완속혼합시 혼합강도 및 혼합시간이 제거효율에 미치는 영향을 검토하여 가장 경제적이고 효과적인 응집처리 조건을 구하는데 있다.

## II. 실험장치 및 방법

PASS-100을 이용한 응집처리시 물리화학적 인자의 영향을 검토하기 위해 대청댐의 원수를 채수하여 실험에 사용하였다. 모든 실험은 6개의 paddle을 가진 표준 jar test 실험장치를 사용하였다. Paddle의 크기는  $2.54 \times 7.6$  cm이었다. Paddle과 shaft는 스테인레스강으

로 만들어졌으며, 교반장치에는 tachometer가 부착되어 0-320rev/min으로 회전수를 조절할 수 있었다. 평균속도구배값(mean velocity gradient, G)은 Cornwell과 Bishop<sup>6)</sup>이 구한 paddle의 회전수와 G값의 상호관계를 이용하여 구하였다. 본 실험에서 사용한 jar는 아크릴로 제작되었으며 크기는  $11.5 \times 11.5 \times 25$  cm이다. 본 실험에서는 응집제로 무기고분자 물질인 PASS-100( $[Al(OH)_{1.5}(SiO_4)_{0.05}]$ , 염기도 50%, 경기화학공업)을 사용하였다. 본 연구에서는 실험을 세가지로 구분하여 수행하였다.

첫번째 실험에서는, 유입수 pH와 응집제 첨가량의 영향을 실험하였다. 대청댐의 원수를 두번 채취하여 2차에 걸쳐 실험을 행하였으며, 이때 pH는 각각 8.5 및 8.05이었다. pH는 1N  $H_2SO_4$ 와 NaOH를 이용하여 6.02-10.00으로 조정하였다. 각각의 pH에서 PASS-100은 0-1.5mg/l로 첨가하였으며 초기고속혼합과 동시에 응집제를 주입하였다. 응집조건은 초기고속혼합을 210/s에서 1분간 행한 후, 후기 완속혼합을 21/s에서 20분간 행하였다. 후기 완속혼합 후 30분간 침전시켰다. 침전 후 상등수를 수면으로부터 3분의 1 되는 위치에서 약 100ml 채취하여 유출수의 pH, alkalinity, turbidity 등을 측정하여 제거효율을 구하였다. 적당한 범위의 pH와 첨가농도를 결정하여 후속되는 실험을 행하였다.

두번째 실험에서는, 초기고속혼합과 혼합시간의 영향을 유출수내의 turbidity의 변화로 측정하여 실험하였다. 유입수의 pH는 8.25이었다. 이를 2l 씩 6개의 jar에 넣은 후 jar tester에 고정하였다. 주입된 PASS-100의 농도는 6개의 jar에 모두 0.05ml/l이었으며, 동시에 첨가하였다. 초기고속혼합은 각각의 혼

합강도(65-570s<sup>-1</sup>)에서 10-600s 동안 행하였으며, 고속혼합 후에 후기 완속혼합없이 30분간 침전시켰다. 30분간의 침전시간 후에 수면으로부터 3분의 1 되는 지점에서 약 100ml를 채수하여 turbidity를 측정하여 turbidity 제거효율과 G<sub>td</sub>와의 상호관계로 부터 최적의 혼합조건 즉, 혼합강도 및 혼합시간을 결정하였다.

세번째 실험에서는, 고속혼합후에 후속된 완속혼합의 영향이 검토되었다. 두번째 실험에서와 비슷한 절차로 실험을 수행하였다. 초기고속혼합강도를 125s<sup>-1</sup>에서 15s, 30s 및 60s 동안 행한 후, 각각의 초기혼합조건에 대해 혼합강도를 21s<sup>-1</sup>로 감소시킨 상태에서 0-30min 동안 후기완속혼합을 행하였다. 혼합시킴후에 30분간 침전시켰다. 모든실험은 25±2°C에서 행하였다.

### III. 실험결과 및 고찰

#### 1. 유입수(초기)의 pH와 PASS-100 첨가농도가 제거효율에 미치는 영향

pH가 8.5 및 8.05이고 알칼리도가 각각 30 및 23mg CaCO<sub>3</sub>/L인 대청댐의 원수를 채수하여 pH를 6.02-10으로 조정한 후 행한 2차에 걸친 응집실험의 결과는 Fig. 1과 같다. 두번의 실험 모두에서 PASS-100의 첨가량이 소량 즉, 0.03-0.05ml/l의 범위에서 좋은 탁도 제거효율을 얻었다. 1차실험에서, 첨가량이 증가하면서 탁도 제거효율이 급격하게 감소하였으며 유입수의 pH가 낮을수록 감소폭은 증가하였다. 2차실험에서도 같은 경향이 나타났다.

즉, 유입수의 pH가 6.02인 경우, 0.03ml/l 첨가시 94%, 0.3ml/l 첨가시 82%, 0.5ml/l 첨가시 67%이었다. 이는 첨가되는 PASS-

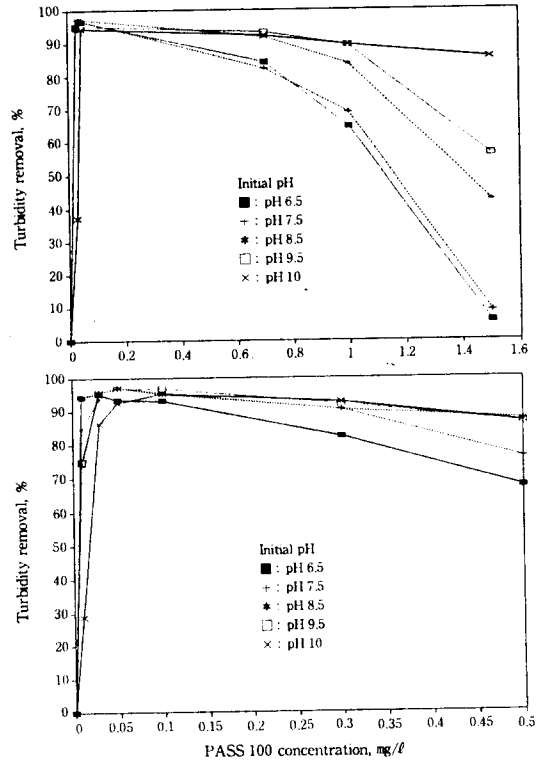


Fig. 1. Effect of pH and dosage on PASS-100 flocculation(top: 1'st experiment, bottom: 2'nd experiment)

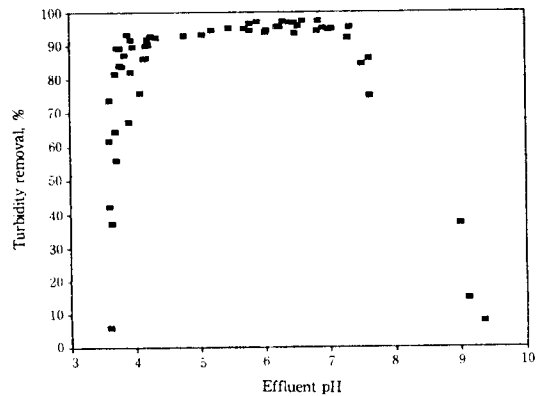


Fig. 2. Relationship between pH and turbidity removal.

100의 농도가 pH를 적정범위 이하로 감소시키기 때문인 것으로 사료된다. 탁도의 제거효율은 유출수의 pH에 따라 크게 영향을 받는

다(Fig. 2). 최적의 유출수 pH 범위는 4.5-7의 범위이며, 이 범위를 벗어나면 제거효율은 급격하게 감소한다. PASS-100을 이용한 응집실험에서 응집반응이 진행됨에 따라 알칼리도는 감소하며 약 3mgCaCO<sub>3</sub>/L 감소되었을때 탁도제거효율은 95%이었으며 3mgCaCO<sub>3</sub>/L 이상 감소하여도 제거효율은 크게 변화가 없는 것으로 관찰되었다(Fig. 3).

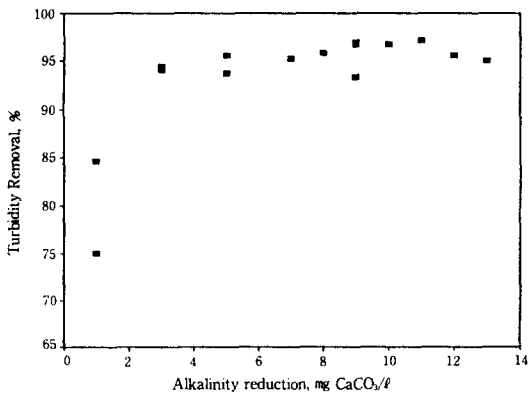


Fig. 3. Relationship between alkalinity reduction and turbidity removal.

2. 제거효율에 대한 초기고속혼합강도 (G)와 혼합시간 (t<sub>d</sub>)의 영향

Turbidity의 제거효율은 초기고속혼합강도와 혼합시간에 크게 영향을 받는다. 일반적으로 제거효율은 혼합강도가 증가함에 따라 증가한다. 제거효율은 혼합강도가 64s<sup>-1</sup>이고 혼합시간이 15s일때 17%에서 혼합강도가 370s<sup>-1</sup>이고 혼합시간이 15s일때 81%이었다. 이것은 초기고속혼합강도가 침전과정에서 floc을 크게 하여 쉽게 침전시킬 수 있는 floc을 형성하는데 중요함을 뜻한다. 이와 비슷한 결과가 여러 연구자들에 의해 관찰되었다.<sup>1), 7), 8)</sup> 혼합시간이 증가함에 따라 높은 혼합강도와 낮은 혼합강도간의 제거효율의 차이는 점진적으로 감소한

다. 낮은 G값에서 혼합시간은 적당한 제거효율을 얻기위해 높은 G값에서 보다 더 긴 시간이 요구된다. 혼합강도와 혼합시간의 곱(Gt<sub>d</sub>)이 PASS-100을 이용한 응집침전에서 중요한 영향인자이다. 만약 Gt<sub>d</sub>값이 서로 같다면, 응집효율은 혼합강도와 혼합시간의 차이에 관계없이 같다(Fig. 4). PASS-100을 이용한 응집처리에서 최적 Gt<sub>d</sub>값은 20,000-30,000의 범위이다.

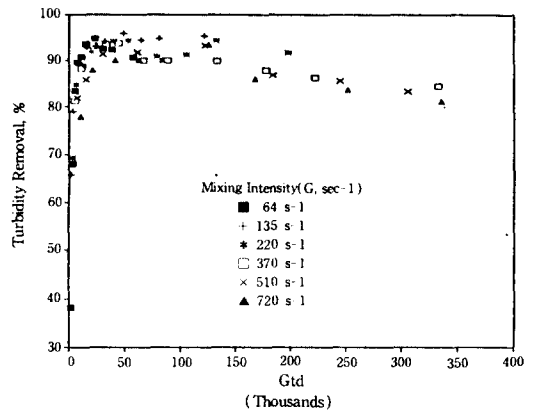


Fig. 4. Relationship between Gt<sub>d</sub> and turbidity removal.

효과적인 응집처리를 위한 최적 Gt<sub>d</sub>값은 응집체의 종류에 따라 다르다. 이는 floc 형성에 있어서 초기 혼합강도 및 혼합시간이 중요한 영향인자임을 나타낸다. 최적 Gt<sub>d</sub>에서 혼합강도는 입자의 접촉횟수와 floc 형성속도를 증가시킨다. 응집효율은 최적 Gt<sub>d</sub>에서 가장 크며 증가하거나 감소함에 따라 제거효율은 감소하게 된다. 이것은 floc의 충돌이나 응집체의 확산에 낮은 Gt<sub>d</sub>값에서는 불충분한 혼합 때문이다. 또한 Gt<sub>d</sub>가 클때 제거효율이 감소하는 것은 이미 형성된 floc이 깨어져서 재응집이 어렵기 때문인 것으로 사료된다. 이상의 결과에

의하면 PASS-100을 이용한 응집시 초기고속혼합이 미치는 영향은  $alum^{(2)}$ 을 사용할때와 같은 경향을 보였다.

3. 초기고속혼합과 후속된 완속혼합의 영향

초기고속혼합의 후속으로 침전과정에서 효과적인 응집물의 제거를 위해 flocc을 크게하는 과정을 즉, 후속된 약한 교반을 완속혼합(혹은 응집과정)이라고 부른다. 이러한 응집과정은 PASS-100을 응집제로 사용하였을때, 응집효율을 거의 증가시키지 못하는 것으로 관찰되었다(Fig. 5). 몇몇 연구자들에 의하면 응집제로 alum, ferric chloride, 바닷물 등을 응집제로 사용하였을때 완속혼합에 의한 응집효율의 증가를 보고하였다. 하지만 본 연구의 PASS-100을 이용한 경우에는 후기완속혼합의 영향이 관찰되지 않았다. 이는 alum, ferric chloride 등에 의해 형성된 flocc 보다 단단하다는 것을 알 수 있다. 따라서 PASS-100을 이용한 응집처리시, 후기혼합없이 완속혼합만으로도 같은 제거효율을 얻을 수 있음을 나타낸다. 하지만 초기고속혼합만 행한 경우와 초기고속혼합과 후기완속혼합을 행한 실험에서 30분간의 침전 후 제거효율의 차이는 크게 나타나지 않았으나, 10분의 침전시간 후 제거효율의 차이가 크게 나타남을 관찰하였다(Fig. 6). 이는 초기 고속혼합만으로도 30분 정도의 침전시간 동안에 효과적으로 침전할 수 있는 크기의 입자가 형성되어 침전효율에는 영향을 미치지 않으나 완속혼합으로 입자크기가 증대되어 침전속도에는 영향을 끼치는 것으로 판단된다. 따라서, 침전시간을 감소시키기 위해서는 후기 완속혼합을 행하는 것이 효과적이라는 것을 알 수 있다.

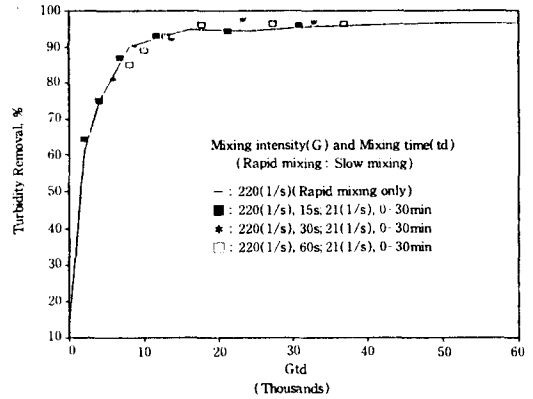


Fig. 5. Effect of slow mixing on PASS-100 flocculation.

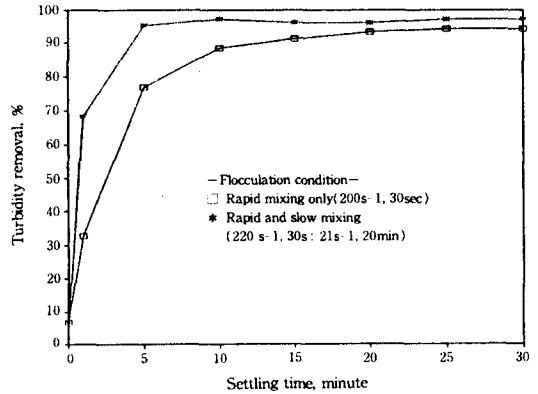


Fig. 6. Relationship between turbidity removal and settling time on mixing condition.

IV. 결 론

PASS-100을 이용한 응집처리시 물리화학적 인자의 영향을 측정된 실험에서 얻을 수 있는 결론은 다음과 같다.

1. PASS-100을 이용한 응집처리시 응집제의 최적 첨가량은 유입수의 pH에 따라 다르며, 유출수의 pH가 4.5-6.5 사이가 되도록 첨가하는 것이 효과적이다.
2. PASS-100을 이용한 응집처리시 혼합강도 및 혼합시간은 제거효율에 크게 영향을 주

는 물리학적 영향인자이다.

3. 혼합강도와 혼합시간의 곱인  $G_t$  값은 제거효율에 영향을 주며, 응집처리공정 설계시 중요한 영향인자로 사용될 수 있다.

4. 최적  $G_t$  값은 PASS-100의 첨가량이 0.05ml/l 일때 20,000-30,000의 범위에 있다.

5. 완속혼합이 응집처리효율을 거의 증가시키지 못하였으나, 침전효율에는 크게 작용하였다.

6. PASS-100을 이용한 응집처리지 혼합조건을 최적화하면 과도한 응집제 투입을 막고 효과적인 처리를 함으로서 경제적인 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

1. Lee, S.I. : Flocculation and Flotation of Microalgae, Ph.D Dissertation, University of Florida, Gainesville, FL. 1987.
2. Hudson, H.E., Jr. : Water Clarification Process, Van Nostrand Reinhold Co., New York, 1981.
3. Paker, S., Kaukman, J., and Jenkins, D. : Floc Breakup in Turbulent Flocculation Processes, J. San. Eng. Div. 98, 79-99, 1972.
4. Vrale, L. and Jorden, R.M. : Rapid Mixing in water Treatment, J. Am. Wat. Works Ass, 63, 52-58, 1971.
5. Morrow, J.J. and Rauch, E.G. : Colloidal Destabilization with Cationic Polyelectrolytes as affected by Velocity Gradients, J. Am. Wat. Works Ass, 66, 646-653, 1974.
6. Cornwell, D.A. and Bishop, M.M. : Determining Velocity Gradients in Laboratory and Full Scale Systems, J. Am. Wat. Works Ass, 53, 1983.
7. Ayoub, G.M., Lee, S.I. and Koopman, B. : Seawater Induced Algal Flocculation, Wat. Res, 20, 1265-171, 1986.
8. Tekipe, R.J. and Ham, R.K. : Velocitygradient Paths in Coagulation, J. Am. Wat. Works Ass, 63, 439-448, 1971.
9. Ayoub, G.M., Lee, S.I., C.N. Maziji, Seo, I.S., Cho, H.M., B. Koopman : Seawater Flocculation of Emulsified oil and Alkaline wastewater, Water Research. 26, 6, 817-823, 1992.
10. Argaman, Y. and Kaufman, W. : Turbulence and Flocculation, J. San. Eng. Div., Proc Am. Soc. Civ. Engrs, 96, 223-241, 1970.
11. Kawamura, S. : Consideration on Improving Flocculation, J. Am. Wat. Works Ass, 68, 328-336, 1976.
12. 이상일 : 자연재인 바닷물을 이용한 알칼리성 산업폐수 처리, 선도기술개발과제 1차년도 보고서, 환경처, 1993.