

## 응집 현상에 따른 오염물질 제거 및 입자 형태 특성: Alum을 사용한 경우

문병현 · 김승현\* · 이향인

창원대학교 환경공학과  
\*경남대학교 공간환경시스템공학부

(2000년 2월 2일 접수, 2000년 4월 17일 채택)

## Pollutant Removal and Characteristic of Floc by Alum Coagulation

Byung-Hyun Moon · Seung-Hyun Kim\* · Hyang-In Lee

*Dept. of Environ. Eng., Changwon National University*

*\*Dept. of Architectural, Civil and Environ. Eng., Kyungnam University*

### ABSTRACT

This study investigated the floc structure and removal of turbidity and organic matter by alum coagulation. Results of this study indicated that sweep floc and charge neutralization area were shifted to more acidic region than that in the Amirtharajah's diagram. This was caused by organic matter present in the raw water. Removal regions of turbidity and organic matter were generally overlapped. However, organic matters was removed better at lower pH than turbidity.

Floc structure was characterized by measuring fractal dimension and volume diameter using AIA and SALLS. SALLS method was found to be more reliable than AIA method. Floccs in sweep floc region had larger size and fractal dimension than floccs in charge neutralization region. As pollutant removal increased, larger fractal dimension and size of floc were measured.

## 요 약 문

Alum을 이용한 응집 과정에서 탁도 및 유기물 제거와 응집 floc의 특성을 파악하였다. 본 실험에서 구한 탁도 제거영역을 Amitharajah의 연구결과와 비교했을 때 sweep floc 및 charge neutralization의 제거영역이 낮은 pH 영역으로 이동하였는데 그 원인은 원수에 포함된 유기물 농도가 다른데서 찾을 수 있다. 대체적으로 탁도 및 유기물(UV<sub>254</sub>와 TOC)의 제거영역은 비슷하였으나 탁도 제거에 비해 낮은 pH에서 유기물 제거의 효과가 높았다.

Floc의 특성은 AIA, SALLS 방법을 이용하여 volume diameter과 fractal dimension을 측정하였다. AIA 방법에 비해 SALLS 방법의 측정이 용이하고 신뢰성도 높았다. SALLS 방법을 이용하여 floc을 측정된 결과 sweep floc 영역의 floc이 charge neutralization 영역의 floc보다 fractal dimension과 평균 직경이 크게 측정되었으며, 오염물질의 제거율이 높을수록 floc의 fractal dimension과 평균 직경도 크게 나타났다.

주제어 : 응집도, Floc, Fractal Dimension, AIA, SALLS

## 1. 서 론

오늘날 상수원의 수질이 악화되어 정수처리의 효율 증대와 고도정수처리 기술이 필요하게 되었다. 일반적으로 사용되고 있는 정수처리 과정은 응집-침전-여과-살균과정이고 최근 상수원의 수질 악화로 인해 고도처리방법이 수행되고 있다. 그러나 기존 정수처리 공정의 효율을 높이지 않은 상태에서 고도정수처리 단계를 설치하는 것만으로는 정수처리 효율을 높이기 어렵다.<sup>1)</sup> 따라서 일반 정수처리에서 중요한 응집공정에 대한 효과적인 운전 및 관리가 필요하다. 일반적으로 응집의 효과는 응집제의 종류에 따른 탁도 제거율로서 평가하였다. 그러나 탁도는 물 속에 포함되어 있는 부유 입자의 산란도로 그 농도를 표시하는 간접적인 방법으로 응집 공정에서 발생하는 입자의 집합체인 floc의 특성을 파악하기 어렵다. Floc의 특성은 응집공정 다음 단계인 침전 및 여과 조작의 효율에도 영향을 미치며, 침전 후 생성된 슬러지의 탈수성에도 중요한 인자가 될 수 있다.<sup>2)</sup> 그러므로 floc의 특성을 파악하는 것은 정수처리 효율을 증대시키는데 중요하다.

응집공정에 의해 생성된 floc은 많은 입자를 구성하는 다공성 형태의 느슨하게 연결된 집합체로 묘사될 수 있다. 최근에 불규칙적인 floc의 형태를 fractal dimension( $d_F$ )을 이용하여 묘사하고자 하는 연구

들이 수행되고 있다. Floc의  $d_F$ 는 free-settling과 small angle scattering(SAS) 방법에 의해서 측정할 수 있다. Floc의 침전속도를 측정하여  $d_F$ 를 계산하는 free-settling 방법은 고도의 촬영기술을 필요로 하며 floc의 침강속도 결과가 많이 필요로 하는 단점을 갖고 있다. 또한 침강속도를 이용하여  $d_F$ 를 계산시 오차를 함유하고 있다. SAS 방법은 대부분 1  $\mu\text{m}$  이하의 콜로이드의 floc을 결정하는데 이용되며 고가의 장비를 필요로 한다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 최근 SALLS을 이용해서  $d_F$ 를 측정하는 방법은 floc의 구조를 측정할 뿐만 아니라,<sup>4)</sup> 응집시의 메커니즘을 연구하는 데도 유용한 것으로 알려져 있다.<sup>5)</sup>

본 연구의 목적은 다음 두 가지로 요약할 수 있다. 먼저 낙동강 원수를 사용하여 응집시의 탁도 및 유기물 제거효과를 파악하고자 하였다. Alum( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ )을 응집제로 사용하여 pH, 응집제 투입량에 따른 탁도, UV<sub>254</sub>, TOC 제거율을 pC-pH diagram으로 도식화하여 낙동강 원수의 최적 응집영역을 도출하고자 하였다. 또한 floc의 특성을  $d_F$ 를 이용하여 조사하였다. Floc의 특성은 앞의 diagram을 바탕으로 응집 메커니즘이 상이한 charge neutralization과 sweep floc 영역에서 발생하는 floc을 AIA와 SALLS 방법을 이용하여 조사하였다.

## 2. 실험 및 방법

$$A \propto L^{D_2}$$

$$M \propto L^{D_3}$$

### 2.1. 수질분석

탁도는 HF Scientific Inc. DRT 100B 탁도계를 사용하여 측정하였고, UV<sub>254</sub>는 시료를 0.45 μm의 유리섬유여과지로 여과한 후, SHIMADZU-1201 분광광도계를 사용하여 254 nm에서 측정하였다. TOC 측정은 SHIMADZU-5000A를 사용하였으며 검량선 작성은 C<sub>8</sub>H<sub>5</sub>KO<sub>4</sub>, Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub>을 표준용액으로 사용하였다. 알칼리도 측정은 0.02N의 황산을 사용하여 pH 4.3까지 중화하는데 필요한 황산의 양을 CaCO<sub>3</sub>의 동가량(equivalent)으로 나타내었다.

### 2.2. Jar-test

본 실험에 사용한 Jar-test는 국내의 용집공정 연구에서 많이 사용되고 있는 Philpps & Birds사의 표준형과 같은 제원으로 제작하여 사용하였다. 장치의 제원은 가로·세로 11.5 cm, 높이 21.5 cm이고, 너비 3 cm, 길이 8 cm로 교반장치를 설치하였으며, 시료의 분석을 용이하게 하기 위해 장치의 밑부분에서 5 cm에 시료 채취구를 설치하였다. 실험은 6개의 Jar-tester에 용집제 [Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> · 18H<sub>2</sub>O]를 주입한 후 150 rpm에서 1분동안 급속교반을, 30rpm에서 20분 동안 완속교반을 하여 플록이 형성된 후 채취하여 플록의 형태를 측정하였으며, 30분간 침전시켜 상등액의 수질을 분석하였다. 실험에 사용된 pH와 용집제 주입량은 pH 4~10, 1~100 mg/L 범위로 조절하였다. 이때 pH의 조절은 0.2 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0.2 N NaOH를 사용하였다.

### 2.3. Floc의 특성 분석

용집과정에서 발생하는 floc의 특성은 floc의 크기 및 d<sub>F</sub>를 측정하여 조사하였다. d<sub>F</sub>는 입자들의 집합체인 floc의 특성을 나타낼 수 있으며 d<sub>F</sub>는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$P \propto L^{D_1}$$

여기서 L은 floc 최대길이를 나타내고, P는 원주, A는 투영면적, M은 무게를 나타낸다. D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, D<sub>3</sub>는 1차, 2차, 3차 d<sub>F</sub>로 정의된다. D<sub>1</sub>의 값이 1보다 클수록 floc의 형태가 불규칙하고 1에 접근할수록 원에 가깝다고 할 수 있다. 반면 D<sub>2</sub>의 값은 2에 접근할수록 floc의 형태가 원에 가깝고, D<sub>3</sub>의 값은 3에 접근할수록 구형의 형태를 가진다. 즉 D<sub>2</sub>와 D<sub>3</sub> 값이 작을수록 형태가 불규칙하고 밀도가 작은 floc으로 표현할 수 있다. D<sub>1</sub>과 D<sub>2</sub>의 측정을 위해서 20분 완속교반 후 생성되는 floc을 스포이드로 채취하여 현미경 슬라이드 글라스에 조심스레 놓고, AIA를 사용하여 최대길이, 원주, 투영면적을 구하였다. 여기서 최대길이와 원주와의 관계로부터 1차 d<sub>F</sub>를 측정하였고, 최대길이와 투영면적의 관계로부터 2차 d<sub>F</sub>를 계산하였다. Floc 입자 분석시 현미경의 배율은 200배로 하여 측정하였다. Floc의 D<sub>3</sub>를 측정하기 위해서는 SALLS 방법을 이용하였다. SALLS 방법에서 d<sub>F</sub>는 빛의 투과시 floc에 의한 빛의 산란강도, I(Q) 및 사용한 빛의 파동의 함수, Q와 밀접한 관계를 가진다. 이들의 관계는 다음 식으로 나타낼 수 있다.<sup>3)</sup>

$$I(Q) \propto Q^{-D_3}$$

SALLS 방법에 사용된 기기는 Malvern Mastersizer/E를 사용하였으며 5mV He-Ne laser 광원과 300 mm 렌즈를 이용하였다. Floc 채취는 20분 완속 교반후 jar-tester의 시료 채취구에서 floc의 깨짐을 방지하기 위해 직접 측정셀에 채취하여 측정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 원수의 특성

본 연구에는 1999년 1월부터 11월에 취수한 낙동강 원수를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 원수의

Table 1. Water quality of raw water

Parameter	Range	Average
pH	7.20~8.5	7.35
Alkalinity (mg/L as CaCO <sub>3</sub> )	46~50	48
Turbidity(NTU)	10~20	16
UV <sub>254</sub> (cm <sup>-1</sup> )	0.050~0.060	0.056
TOC(mg/L)	5.05~6.00	5.50
Volume diameter(μm)	16~18	16.5

특성은 다음과 같다(Table 1). Table 1에 의하면 낙동강 원수는 유기물과 탁도가 비교적 높았으며 알카리도는 낮았다. 또한 SUVA(UV<sub>254</sub>/TOC=1.02)가 낮아 생분해도가 높고 친수성기가 많이 포함되어 있는 수질특성을 나타내었다.

### 3.2. Jar-test 결과

#### 3.2.1. 탁도 제거율

탁도 제거결과를 Amirtharajah의 결과와 함께 Fig. 1에 나타내었다.

탁도의 최적 제거 효율은 상층수 pH 6.4, 주입량 50 mg/L에서 90%를 보였고, pH 5.5~9와 주입량 10 mg/L이상에서 70~80% 이상의 제거율을 보였다. Al(OH)<sub>3</sub>용해도를 함께 나타내고 있는 Fig. 1에 의하면 이 영역은 수중의 콜로이드 물질이 양전하의 수산화알루미늄 침전물에 의해 둘러싸인 sweep floc 영역임을 알 수 있다. 응집 pH 5 미만에서 입자가 재안정화되면서 탁도 제거율이 급격히 감소하다가 pH 2~3에서 약간 회복되었다. Fig. 1의 아래 그림에 나타난 zeta potential도 이 지점에서 등전점을 보이므로 이 영역은 charge neutralization에 의한 응집 영역임을 알 수 있다. 본 실험의 결과를 Amirtharajah의 실험결과를 비교하면 본 실험에서 얻은 sweep floc과 charge neutralization 영역이 Amirtharajah의 결과보다 낮은 pH로 위치함을 알 수 있다. 그 이유는 실험에 사용된 원수에서 찾을 수 있다. Amirtharajah의 실험은 탁도만을 함유한 조제수의 응집결과이며 본 실험은 실제 낙동강 원수

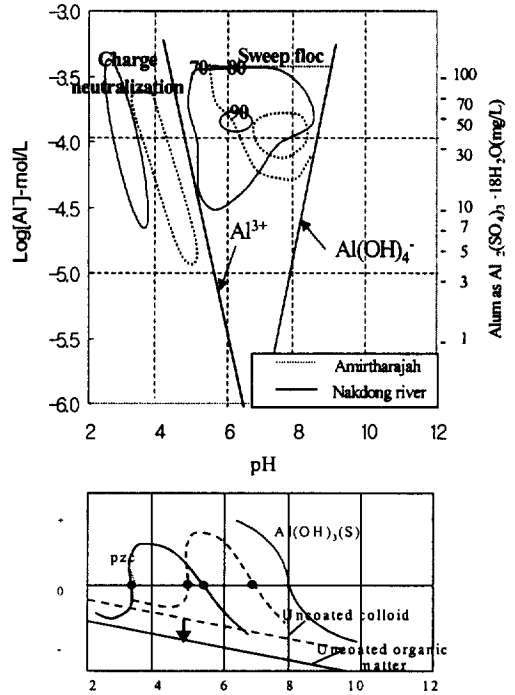


Fig. 1. The alum coagulation diagram and zeta potential for turbidity removal.<sup>8)</sup>

즉 탁도 및 유기물이 함유된 원수의 응집 결과이다. 따라서 응집시 최적 pH 및 주입량을 결정하는 것은 탁도와 유기물이 함유된 원수의 성상에 의해 변하며, 특히 유기물의 함유량에 따라 좌우됨을 알 수 있다.

#### 3.2.2. 유기물 제거

유기물 제거결과를 Fig. 2와 3에 제시하였다. UV<sub>254</sub> 제거의 최적영역은 pH 6.5, 주입량 100 mg/L으로 52%의 제거율을 나타내었다. 최적 pH는 탁도 제거의 경우와 비슷하였다. TOC 제거 결과는 전체적인 UV<sub>254</sub>의 경우 비슷한 경향을 보였다. TOC 제거의 최적 영역은 pH 6.2, 주입량 70mg/L으로 55%의 제거율을 나타내었다. 그러므로 유기물 제거는 탁도 제거보다는 낮은 pH와 높은 응집제 주입량에서 우수하였다. 그 이유는 원수에 함유된 유기물의 특성에서 기인된 것으로 사료된다. 원수에 함유된 유기물의 음전하와 표면적은 탁도를 유발하는 물질보다 크다. 그러므로 유기물을 제거하기 위해서는 탁도 제거시보다 높은 주입량과 알루미늄이

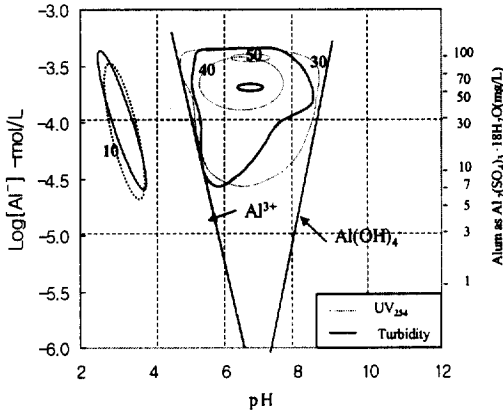


Fig. 2. The alum coagulation diagram for UV<sub>254</sub> removal.

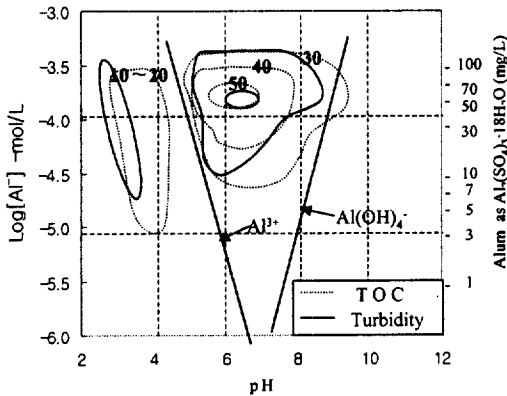


Fig. 3. The alum coagulation diagram for TOC removal.

은이 강한 양의 전하를 나타내는 낮은 pH 영역에서 음의 전하를 나타내는 유기물과 강하게 결합되기 때문이다. 즉 유기물의 음전하는 낮은 pH로 이동할수록 밀도가 낮아지며 응집체에 함유된 알루미늄이온은 낮은 pH에서 양전하 밀도가 높아지므로 낮은 pH가 유기물의 응집에 유리하였다.

### 3.3. Fractal Dimension

응집 메커니즘이 상이한 조건에서 발생하는 sweep floc과 charge neutralization 영역에서의 입자의 형태 특성을 비교하기 위해 각 영역에서 채취한 floc의  $d_F$ 를 측정하였다. Table 2는 각 영역에서의 pH, 응집제 투입량과 오염물질의 제거율을 나타내었다.

Table 2. Turbidity, UV<sub>254</sub>, and TOC removal efficiency by sweep floc and charge neutralization

	pH	dosage (mg/L)	Turb.	UV <sub>254</sub>	TOC
Sweep floc	6.4	50	90	40	49
Charge Neutralization	4.2	5	5	2	12

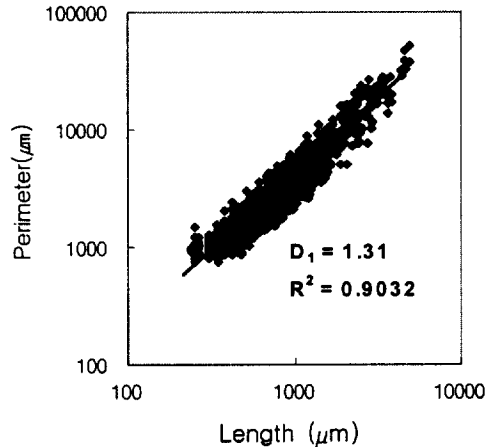


Fig. 4. 1st  $d_F$  (perimeter-length) for sweep floc.

위에서도 언급한 바와 같이 1차 및 2차  $d_F$ 는 AIA를 이용하였으며, 3차  $d_F$ 는 SALLS 방법을 이용하여 측정하였다.

#### 3.3.1. 1차 $d_F$

Sweep floc 영역의 floc을 채취하여 AIA 방법의 의해서 측정된 최대길이와 원주의 관계를 log-log 좌표로 표시하였다. (Fig. 4, 5)

Fig. 4, 5에서 알 수 있듯이 floc의 최대길이와 원주 사이에 상관관계가 있었다. Sweep floc에서 분석된 1380개 집합체들의 1차  $d_F(D_1)$ 는 1.31이고, charge neutralization 영역에서 분석된 573개 집합체들의  $D_1$ 는 1.08로 나타났다. Sweep floc 영역의 floc의  $d_F$ 가 charge neutralization 영역의  $d_F$ 보다 높은 것은 이 영역의 입자들이 불규칙하게 결합된 floc의 형태를 하고 있음을 나타낸다. 이러한 결

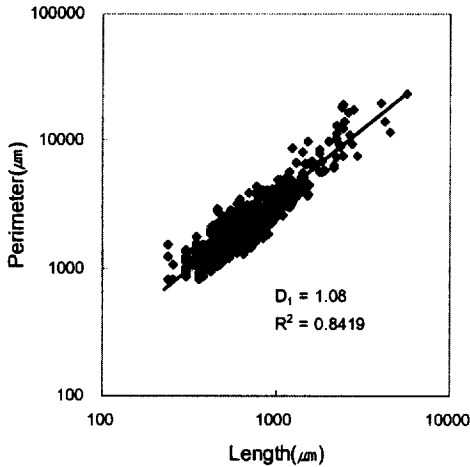


Fig. 5. 1st  $d_F$ (perimeter-length) for charge neutralization.

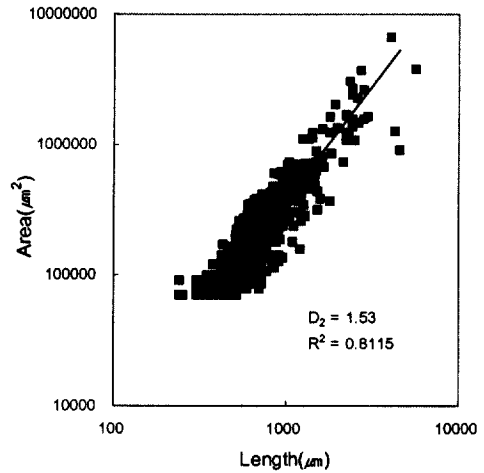


Fig. 7. 2nd  $d_F$ (area-length) for charge neutralization.

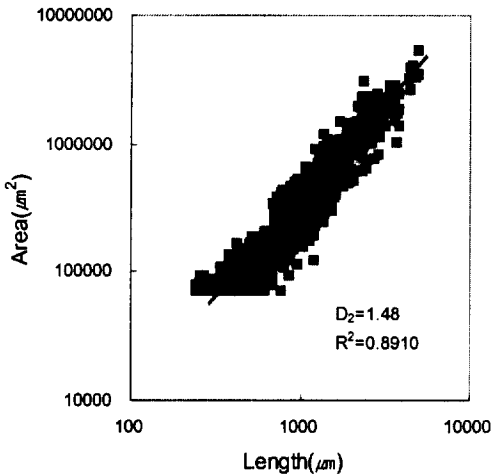


Fig. 6. 2nd  $d_F$ (area-length) for sweep floc.

과는 응집 메커니즘에 따라 생성된 floc의 특성이 다르다는 것을 나타낸다.

### 3.3.2. 2차 $d_F$

2차  $d_F$ 는 1차  $d_F$  측정 때와 동일한 floc들을 이용하여 floc의 최대길기와 투영면적과의 관계를 log-log 좌표에 나타난 기울기로 나타내었다(Fig. 6, 7).

Sweep floc 영역에서의  $D_2$ 는 1.48로 charge neutralization 영역의  $D_2$  (1.53)보다 낮게 측정되었다. 이는 1차  $d_F$  측정결과와 유사하다. 즉 sweep floc에 의해서 생성된 입자들이 불규칙하게 결합된 floc의 형태를 하고 있다고 할 수 있다. 그러나 AIA

방법은 floc의 원주 및 면적 측정시 컴퓨터 상에서 중첩된 입자의 면적을 계산할 가능성이 있으며, 현미경의 측정 배율과 AIA에 사용된 소프트웨어에 따라 측정치가 변화할 수 있다. 또한 현미경상의 커버 글라스로 덮을 때 floc의 형상이 변화되어 오차가 발생할 수 있으며 응집과정에서 발생하는 floc의 on-line 측정이 어렵다. 그러므로 AIA를 이용시 floc의 채취 및 측정에 많은 주의가 필요하다.

### 3.3.3. 3차 $d_F$

3차  $d_F$ 측정은 1, 2차  $d_F$ 와는 달리 SALLS 방법을 이용하여 측정하였다. 빛의 산란강도,  $I(Q)$ 와 사용한 빛의 파동의 함수,  $Q$ 의 관계를 Fig. 8과 9에 나타내어 3차  $d_F$ 를 측정하였다.  $Q$ 와  $I$ 의 관계에서  $Q$ 값이 클수록  $I$ 값이 서서히 줄어들다가  $Q$ 값이  $10^6$  이상인 부분에서는 일정하게 감소되는 것을 볼 수 있다. 서서히 감소하는 부분을 Guineir 영역, 일정하게 감소되는 직선 영역을 fractal 영역으로 구분할 수 있다.<sup>3)</sup> 본 연구에서는 직선 영역이 뚜렷하게 나타나는 점,  $1 \times 10^{-6} \sim 1 \times 10^{-4} \text{ nm}^{-1}$ 의 범위를 fractal 영역으로 구분하였으며,  $d_F$ 값은 5회 실시한 평균값을 나타내었다. Fig. 8, 9에 의하면 sweep floc과 charge neutralization 영역에서의  $d_F$ 는  $2.20(\pm 0.0571)$ 과  $1.84(\pm 0.0325)$ 로 측정되었다. SALLS 방법에 의하여 측정된  $d_F$ 는 AIA방법에 의해서 측정된  $d_F$ 보다 높은 상관관계( $R^2=0.99$ )를 보였다.

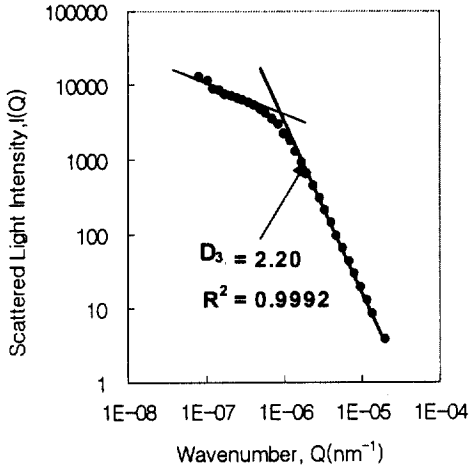


Fig. 8. 3rd fractal  $d_f$  for sweep floc.

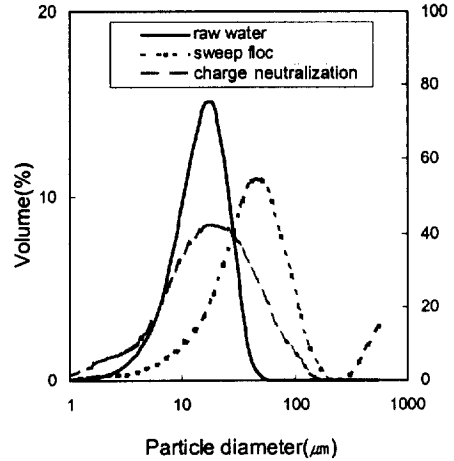


Fig. 10. Particle size distribution in raw water, sweep floc and charge neutralization.

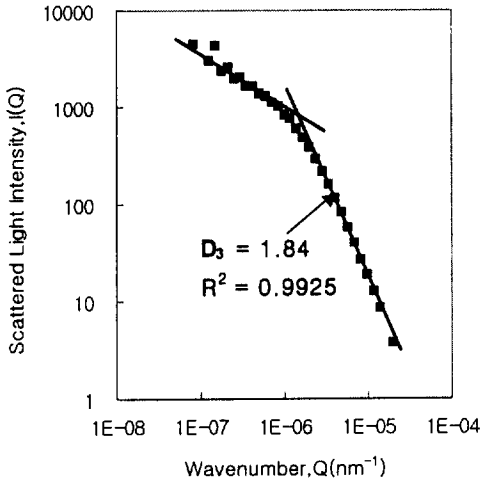


Fig. 9. 3rd  $d_f$  for charge neutralization.

SALLS 방법에 의하면 sweep floc 영역의  $d_f$  값이 charge neutralization의 값보다 크게 나타나 이는 sweep floc에 의해서 생성된 입자들이 charge neutralization에 의해서 생성된 입자보다 형태가 구형에 가깝고 밀도도 높은 것을 의미한다. 그 결과 sweep floc영역에서의 탁도 제거율이 charge neutralization 영역보다 우수하였다.

SALLS의 방법은 AIA방법과 다른 결과를 나타내었다. AIA에 의해서 측정된 결과는 sweep floc 영역의 floc이 charge neutralization 영역의 floc보다 불규칙한 형상이었으나 SALLS에 의해서 측정된 결과에 의해서는 sweep floc 영역의 floc이 charge neutralization 영역의 floc보다 규칙적이고 밀도

도 높았다. SALLS에 의한 방법은 AIA 방법과 달리 측정시 floc의 파괴 등에 의한 재구조화될 우려가 없기 때문에 입자의 구조 및 형상을 확인하기에 적절한 방법으로 판단된다.

### 3.4. 입자크기 및 분포변화

입자의 floc 크기를 측정하는 방법은 volume, number, surface로 측정하는 방법이 있으나, 본 실험에서는 volume 평균 입경을 사용하였다. 원수 및 sweep floc, charge neutralization 영역에서 측정된 입자의 크기 분포를 Fig. 10에 나타내었다.

원수의 입자는 1~50  $\mu\text{m}$  크기로 분포하였으며 10  $\mu\text{m}$  부근에서 입자의 70%를 나타내고 입자의 평균 크기는 16.5  $\mu\text{m}$ 로 측정되었다. Sweep floc과 charge neutralization 영역에서 측정된 floc의 평균 크기는 각각 97.26  $\mu\text{m}$ 와 24.51  $\mu\text{m}$ 이었다. 응집 후 입자의 크기가 증가되었으며, sweep floc 영역에서의 입자의 크기는 charge neutralization 영역보다 크게 나타났다. 응집효율이 높을수록 입자가 크게 측정되었다.

### 3.5. 응집인자에 따른 fractal dimension 및 평균입자크기

다음은 pH 및 응집제 주입량에 따른 응집효율과

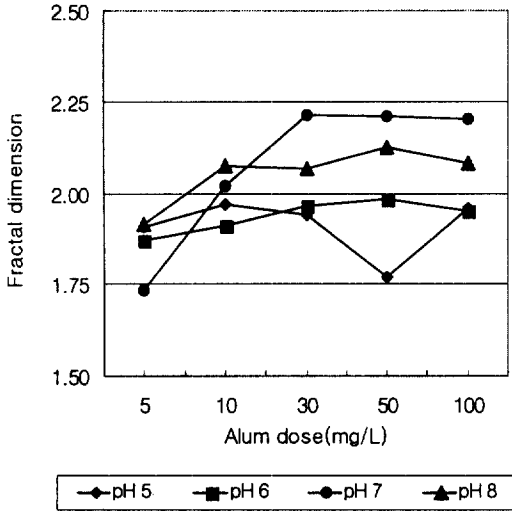


Fig. 11. pH and alum dose effects on fractal dimension.

응집과정에서 발생하는 floc의  $d_F$  및 평균입자크기를 SALLS방법을 사용하여 측정하였다. 반복 실험을 통하여 응집효율과 floc의  $d_F$  및 크기와의 관계를 분석하여 앞의 결과를 재확인하였다.

원수의 pH를 5, 6, 7, 8로 먼저 조절하고, 응집제의 농도를 5, 10, 30, 50, 100 mg/L로 주입하여 발생한  $d_F$ 값을 Fig. 11에 나타내었다. 원수의 pH를 조절한 후 응집제를 주입하였으므로, 응집 후 상층수의 pH는 약간 낮아지며 이 점을 고려하여 앞의 탁도 제거효율과 비교하였다.

원수의 pH를 5로 조절하였을 때는 응집제 주입량이 30 mg/L까지 증가하여도  $d_F$ 값은 거의 유사하였으며, 50 mg/L 주입시에는 감소하였다가 100 mg/L 주입시에는 원래 값과 유사한 값을 보였다. Fig. 1과 비교하면 pH 5 이하에서는 제거율이 낮게 나타나는 영역이다. 원수의 pH를 6으로 조절시는 주입량이 많을수록  $d_F$ 값이 조금씩 증가하였다. 원수의 pH를 7로 조절시에는 주입량이 많을수록 급격히 증가하다 30 mg/L 이상에서는 비슷한 값을 보였다. 이때 탁도와 유기물 제거율 또한 가장 높게 측정되었다. 따라서 오염물 제거율이 높을 때  $d_F$ 값이 커짐을 알 수 있었다.

Fig. 12는 입자의 크기변화를 나타낸 것이다. 원수의 pH를 5로 조절할 시에는 응집제 주입량에 관계없이 입자의 크기가 거의 비슷하였고, 앞의  $d_F$  결

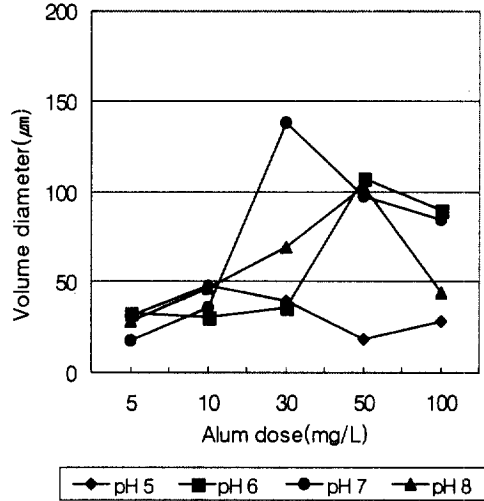


Fig. 12. pH and alum dose effects on particle size.

과와 비슷한 양상을 보였다. 원수의 pH를 6과 8로 조절하였을 때는 응집제 주입량이 증가할수록 입자의 평균크기가 증가하다가 50 mg/L 이상에서는 약간 감소하는 경향이 나타났다. 원수의 pH를 7로 조절하여 응집제 주입량을 변화하여 측정한 결과 응집제 주입량이 30 mg/L에서 최대 입자크기를 나타내었으며 최적 주입량 이상에서는 입자의 평균 크기는 감소하였다. 전반적으로 최적의 오염물질 제거효율을 얻었을 때 floc의 크기 및  $d_F$  값이 가장 큰 값을 나타내었다. 최적 조건에서의 floc의 특성은 조밀한 입자로 형성된 밀도가 높다는 것을 제시하는  $d_F$  값이 높고 큰 floc이 형성된다고 할 수 있다.

#### 4. 결 론

응집 pH와 주입량에 따른 오염물제거 및 입자형상과의 관계를 파악하여 다음과 같은 결론을 내렸다.

- 1) 탁도만을 함유한 Amirtharajah의 실험결과를 비교할 때 본 연구결과의 탁도 제거영역은 낮은 pH로 이동하였다. 그러므로 응집시 최적 조건은 원수의 성상에 의해 변하며 특히 유기물의 함유량에 따라 좌우됨을 알 수 있었다.
- 2) 유기물 및 탁도의 최적 pH는 유사하였으나 전반적으로 유기물 제거는 탁도 제거에 비해



높은 주입량과 낮은 pH에서 유리하였다.

- 3) AIA를 이용한 floc의 1차 및 2차  $d_F$ 를 측정하여 형태를 파악한 결과 sweep floc 영역의 입자들이 불규칙하게 결합된 형태를 나타내었다.
- 4) SALLS를 이용한 floc의 형태를 파악한 결과 sweep floc 영역의 floc이 charge neutralization 영역의 floc보다 평균크기 및  $d_F$  값이 컸다.
- 5) pH와 응집제를 조절하여 floc의  $d_F$ 값과 크기를 측정한 결과 제거효율이 높을수록 floc의  $d_F$ 값과 크기가 증가하는 경향을 보였다. 이 결과로 제거효율이 높을수록 응집 floc이 크고 밀도가 높은 floc이 형성됨을 알 수 있었다.

## 사 사

본 연구는 1998년 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 한무영, "고도정수처리 도입의 타당성 검토," 대한상하수도학회지, **7**(2), 47~54(1993).
2. 김상구, 류재익, 류동춘, 김정현, "응집에 영향을 미치는 물리-화학인자," 대한상하수도학회지, **11**(1), 81~87(1997).
3. Jung, S. J., A New Technique for Characterization of Floc Structures, Ph D. thesis of University of New South Wales (1997).
4. Jung, S. J., Amal, R. and Raper, J. A., "Characterization of floc structure using small angle laser light scattering," in *Proceedings of 6th Int. symp. Agglomeration*, Nagoya, Japan, p. 785(1993).
5. Ng, K., Amal, R., Raper, J. A., and Wait, T. D., "Flocculation of kaolinite with alum and dewatering of flocs under different conditions," in *Proceedings of 1st Int. Particle Technology Forum*, Denver, USA, **3**, pp. 232~236(1994).
6. Logan, B. E. and Wilkinson, D. B., "Fractal dimension and porosities of *Zoogloea ramigera* and *Saccharmyces cerevisiae* aggregates," *Biotechnol. Bioeng.*, **38**, 389~396(1991).
7. Logan, B. E. and Kilips, J. R., "Fractal dimension of aggregates formed in different fluid mechanical environment," *Water Research*, **29**(2), 443~453(1995).
8. Amirtharajah, A. and Mills, K. H., "Rapid-Mix design for mechanisms of alum coagulation," *Jour. AWWA*, **74**(4), 210~216(1982).