

정수공정 개선을 위한 유기성 Polymer의 사용

이 화 자 · 김 정 숙 · 강 임 석
부경대학교 환경공학과 · 부경대학교 ERC 연구원
(1998년 1월 19일 접수)

Utilization of Organic Polymers for Improvement of Drinking Water Treatment Process

Hwa-Ja Lee, Jeong-Sook Kim*, and Lim-Seok Kang
Dept. of Environmental Engineer, Pukyong National University, Pusan, Korea
*Engineering Research Center, Pukyong National University, Pusan, Korea
(Manuscript received 19 January 1998)

Organics matters including algae are the major contaminants of Nak-dong river and it's concentration is more increasing now. The use of coagulants has been increased for the effective treatment of drinking water, and aluminum coagulants have been the most widely used in raw water treatment. However, when inorganic metal coagulant is excessively used for long period, it would result in secondary problems, such as increasing sludge production, enhancing the cost of water treatment process, and increasing concentration of residual metal, especially aluminum. Therefore, recently, in order to reduce the use of metal coagulant and enhance the coagulation effectiveness, several alternative coagulants, such as polymeric inorganic coagulants and organic polymers, have been used in water treatment plants. The objectives of this research were (1) to determine optimum dosage concentration and compare the coagulation efficiency at various pH ranges with alum alone, alum+cationic polymer, and alum+anionic polymer, (2) to evaluate the amount of alum reduced by using organic polymer, (3) to maximize removal efficiency of organic matter and minimize the concentration of residual aluminum.

Key words : Alum, cationic polymer, anionic polymer, optimum dosage, residual aluminium.

1. 서 론

일반적으로 사용되는 정수 공정은 응집·침전·여과 공정으로 이루어진다. 이 중 응집공정에서는 콜로이드 상태의 입자상 오염물질 또는 용존성 유기물질도 어느 정도 제거해 주는 매우 중요한 공정으로서, 응집 공정의 효율에 따라 후속공정 및 처리수질에까지 영향을 미치게 된다. 따라서 응집공정에서의 효율을 최대한 높이고자 하는 많은 노력이 행해지고 있으며, 이에 본 연구에서는 양이온 및 음이온의 유기성 polymer를 alum과 함께 응집보조제로 사용하여 응집 효율을 향상시키고, alum의 사용량을 감소시키는데 목적이 있다.

Polymer를 이용한 응집실험은 1950년대 초반부터 시작하였으며(Michaelis, 1954), polymer를 polyelectrolytes라 칭하기도 한다. Montgomery(1985)는 polymer는 분자들의 아주 긴 연결체로서 보통 정전기적 전하를 띠고 있다고 정의하였으며, polymer의 이온화 정도에 따라 양이온성·음이온성·비이온성 polymer로 구분하였다. 그 중 상수처리에 가장 많이 사용되고 있는 양이온성 polymer의 경우 주 응집 메카니즘은 전하중화

로써 자연수의 일반적인 pH 범위인 6~8에서 음전하로 안정하게 대전되어 있는 입자표면에 양이온성 polymer가 흡착하여 입자표면을 중화시킴으로서 오염물질의 제거효율을 높여주는 역할을 하게 된다(Edward, et al., 1987). 음이온성 polymer는 입자끼리의 전기적 반발력에 의해 생긴 틈 사이에서 입자 상호간의 가교작용에 따라 입자를 보다 크고 단단하게 만들어 응집의 효율을 높여주는 역할을 하게 된다 (Gregory, 1989; LaMer et al., 1963).

현재 국내에서 가장 많이 사용되고 있는 알루미늄계 응집제의 경우, 잔류알루미늄에 의한 노인성 치매(Alzheimer's disease)를 비롯한 뇌신경 장애 등 인체 건강상의 문제를 야기시킬 뿐만 아니라 (Craper et al., 1973; Davison, 1982), 저온 및 높은 pH 범위에서의 응집 효과 저하, 다량의 슬러지 발생 등의 단점이 있다. 하지만 유기성 polymer를 alum과 함께 응집보조제로 사용할 경우 유기물 제거효율을 높임과 동시에 주 응집제인 alum의 사용량을 줄임으로써 전체적인 약품 사용량을 감소시킬 수 있고, 또한 슬러지의 탈수성이 증가하

Table 1. Raw water quality and experimental condition

Parameter		Description
Raw-water: (Nakdong River)	Temp.	5 ~ 15°C
	pH	7.3 ~ 8.0
	Turbidity	2.7 ~ 5.6 NTU
	Alkalinity	40 ~ 50 mg/ℓ
	UV-254	0.05 ~ 0.15 cm ⁻¹
Coagulants	TOC	5.6 ~ 9.0 mg/ℓ
	Alum	8.2 % Al ₂ O ₃
	Cationic polymer	Han-sol Chem. HC-612
	Anionic polymer	Han-sol Chem. HA-532
Rapid mixing	250 rpm (G=550 sec ⁻¹ at 20°C) for 1 min	
Slow mixing	30 rpm (G=22 sec ⁻¹ at 20°C) for 30 min	
Settling time	60 min	

여 응집 후 슬러지 처리도 용이하게 된다(Black et al., 1965). 그리고 후속공정으로 GAC 또는 BAC와 같은 고도 정수처리 시설이 설치되어 있을 경우 고도 정수 공정의 유입부하량을 줄임으로써 고도 정수 처리시설의 원활한 운영에도 도움을 줄 수 있다(Edzward, et al., 1987). 따라서 본 연구에서는 먼저 polymer를 응집 보조제로 사용할 경우에 있어 최적의 급속교반 조건 및 주입시점을 도출한 다음, 주 응집제인 alum 사용량의 감소효과에 대하여 알아보고 마지막으로 응집 pH에 따른 polymer의 응집효과에 대해서 고찰하였다.

2. 재료 및 실험방법

본 실험에서 사용된 원수는 낙동강 하류부의 물금 지역에서 채수하였으며, 채수된 원수는 20ℓ 통을 사용하여 실험실로 운반한 다음 원수 성상의 동일성을 기하기 위하여 200ℓ 플라스틱 통에 저장하여 실험에 사용되었다. 또한 실험에서 사용된 Jar-test는 6개의 교반 장치를 갖춘 Phipps and Birds사의 표준 Jar-tester를 이용하였으며, 사용된 Jars는 규격이 (11.5cm)^W × (11.5cm)^H × (21.0cm)^D인 2ℓ 용량이고, Jar-tester의 패들 규격은 (7.5cm)^W × (2.5cm)^H이었다.

Alum dosing 용액은 회석 후 가수분해에 의한 변성을 방지하기 위하여 10 g/l 로 제조하였으며, 양이온성 및 음이온성 polymer는 10 mg/l 로 제조하여 사용하였다. 응집제의 주입은 고르고 빠른 분산을 위하여 주사기를 사용하여 가급적 빨리 임펠러 전단 부근에 주입하였다.

Alum과 함께 polymer를 응집 보조제로 사용할 경우 주 응집제인 alum 사용량의 감소 효과를 알아보기 위해서 먼저 alum 단독으로 30~80 mg/l 까지 단계별로 주입한 응집실험을 통하여 최적 응집제 농도를 도출하였다. 다음으로 도출된 최적 주입농도의 50%에 해당하는 30 mg/l 의 alum에 양이온성 및 음이온성 polymer를 0.05~0.3 mg/l 까지 단계별 주입에 따른 응

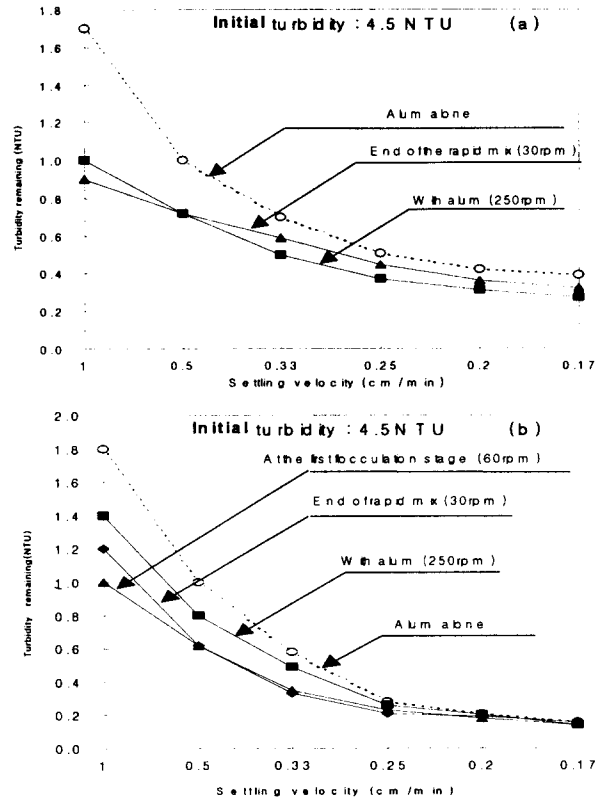


Fig. 1. Comparison of turbidity remaining with different point of (a)cationic polymer and (b) anionic polymer addition (Alum: 50mg/l, polymer: 0.15mg/l).

집 실험을 실시함으로써 alum 단독으로 사용하였을 경우와 응집효과를 비교해 보았다. pH별 응집효과를 알아보기 위해 산(0.1N HCl)과 염기(0.1N NaOH)의 주입은 응집제 주입 전에 실시하였다. Jar-test 조건 결정을 위한 예비 실험 결과에 따라 양이온성 polymer는 alum과 동시에 급속교반시 주입하였으며, 음이온성 polymer는 alum 주입 후 완속교반시 주입하였다. Jar-Test 교반속도는 급속 250rpm(G=550 sec⁻¹ at 20°C), 완속 30rpm(G=22 sec⁻¹ at 20°C)으로 하였으며, 각각의 교반시간은 1분, 30분으로 유지하였다. 침전시간은 1시간으로 하였으며, 수질분석을 위한 시료채취는 수면 아래 10cm에 위치한 sampling tap을 통하여 실시하였다. Table 1에 실험에서 사용된 원수의 수질특성 및 실험조건을 나타내었으며, 항목별 실험방법은 Standard Methods(1995)에 준하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 Polymer의 주입시점 결정

양이온성 및 음이온성 polymer의 최적 주입시점을 결정해 주기 위해 polymer를 alum과 함께 급속교반시(250rpm)시 주입하였을 경우와, alum을 먼저 주입해준 다음 완속교반(30rpm)시 주입하였을 경우로 나누어

정수공정 개선을 위한 유기성 Polymer의 사용

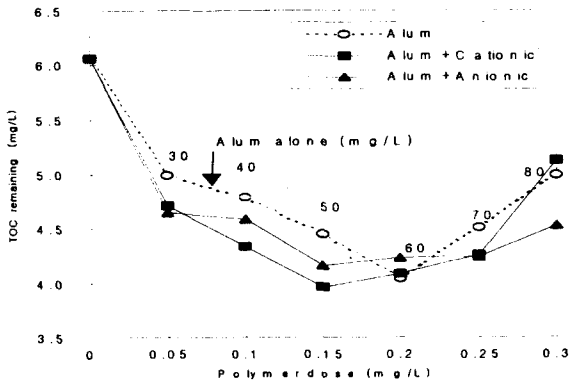


Fig. 2. Removal of TOC with different polymer dose (Alum dosage with polymers is 30 mg/l).

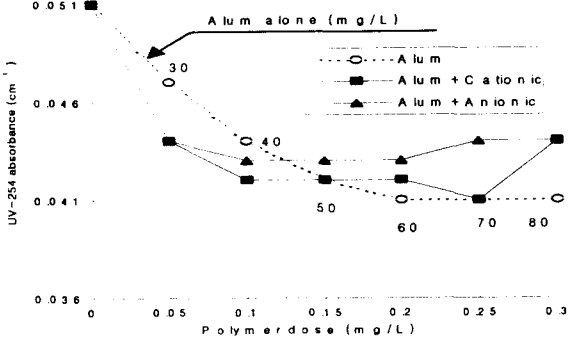


Fig. 3. Removal of UV-254 absorbance with different polymer dose (Alum dosage with polymers is 30 mg/l).

alum 단독으로 사용하였을 경우와 비교하면서 각각에 대한 침전시간별 탁도 제거 효과를 비교해 보았다.

먼저 Fig. 1(a)에 나타난 바와 같이 양이온성 polymer를 응집보조제로 사용할 경우, 주입시점에 관계없이 alum 단독으로 사용할 경우보다 floc의 침강성이 우수하게 나타났으며, 주입시점별로는 alum과 함께 급속교반시 주입해 주는 것이 응집효과가 우수한 것으로 나타났다. Fig. 1(b)에 음이온성 polymer의 주입시점별 탁도 제거 정도를 나타내었는데 음이온성 polymer의 경우에는 급속교반시 alum을 먼저 주입해준 다음 완속교반시 polymer를 주입하였을 경우의 응집효과가 더 우수한 것으로 나타났다.

3.2 Alum 사용량의 감소효과 분석

Alum과 함께 polymer를 응집 보조제로 사용하였을 경우 polymer 주입농도에 따른 TOC의 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 이때 alum 단독으로 사용하였을 경우에는 주입농도 60 mg/l에서 TOC 농도가 최저였으나 polymer를 응집보조제로 alum과 함께 사용하였을 경우에는 alum 30 mg/l에 양이온성 및 음이온성 polymer를 각각 0.15 mg/l씩만 사용하여도 alum 60 mg/l를 사

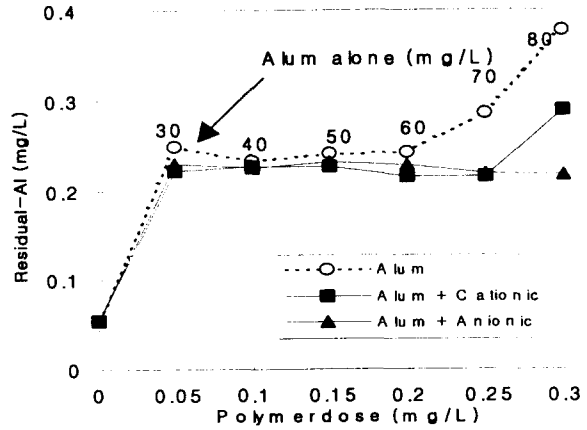


Fig. 4. Removal of residual Al with different polymer dose (Alum dosage with polymers is 30 mg/l).

용하였을 때와 비슷한 TOC 제거효과를 나타냈다. 따라서 TOC 제거측면에서는 polymer를 응집보조제로 사용할 경우 60 mg/l에서 30 mg/l로 50%의 alum 사용량 감소효과를 얻을 수 있었다. 그리고 polymer의 주입농도 전반에 걸쳐 양이온성 polymer가 음이온성 보다 다소 높은 TOC 제거효율을 나타내었다.

동일 조건에서 UV-254 absorbance의 변화를 Fig. 3에 나타내었다. 이때 양이온성 polymer 0.1 mg/l와 alum 30 mg/l를 함께 사용하였을 경우 alum 50 mg/l를 사용하였을 때와 동일한 UV-254 흡수 유기물질 제거효과를 나타냈으며, 음이온성 polymer는 alum 30 mg/l에 0.1 mg/l의 polymer를 함께 사용한 경우 alum 45 mg/l를 사용하였을 때와 비슷한 제거효과를 나타냈다. 따라서 UV-254 흡수 유기물질 제거 측면에서는 양이온성 polymer를 응집보조제로 사용할 경우 alum 주입량을 50 mg/l에서 30 mg/l로 40%의 alum 사용량 감소효과를 얻을 수 있었으며, 음이온성 polymer를 응집보조제로 사용할 경우에는 45 mg/l에서 30 mg/l로 30%의 alum 사용량 감소효과를 얻을 수 있었다. 전반적인 polymer 주입농도에서 양이온성 polymer를 응집보조제로 사용하였을 경우가 가장 우수한 응집효과를 나타내었다.

동일 조건에서 잔류알루미늄의 변화를 Fig. 4에 나타내었다. 잔류알루미늄의 경우 alum 단독의 최적 주입농도인 60 mg/l 주입시 까지는 농도가 거의 변화가 없다가 alum 주입농도가 80 mg/l까지 증가함에 따라 잔류알루미늄의 농도도 급격히 증가하였다. 그러나 일정농도의 alum에 polymer를 응집보조제로 사용할 경우, 앞에서 살펴보았듯이 유기물 제거측면에서도 우수한 응집효과를 나타낼과 동시에 응집제 사용에 따른 잔류알루미늄 농도의 급격한 증가도 없었다. 따라서 잔류알루미늄의 농도를 최소화하면서 최적의 수질을 얻기 위해서는 적정 농도의 alum과 polymer를 응집보조제로 함께 사용하는 것이 바람직한 것으로 사료된다.

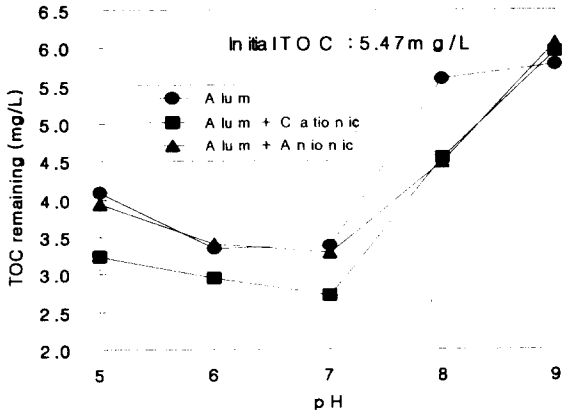


Fig. 5. Effect of coagulation pH on the removal of TOC (Alum: 50 mg/l, polymer: 0.1 mg/l).

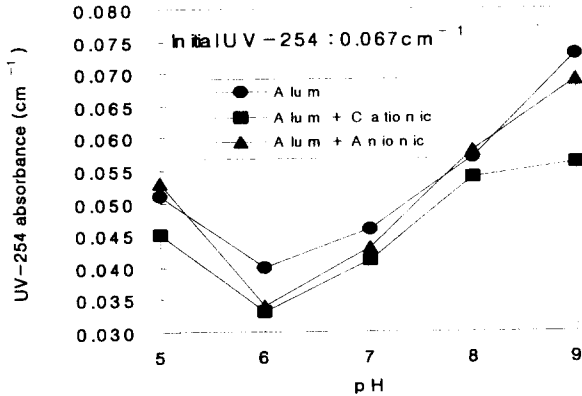


Fig. 6. Effect of coagulation pH on the removal of UV-254 absorbance (Alum: 50 mg/l, polymer: 0.1 mg/l).

3.3 응집 pH별 응집효과 분석

응집 pH에 따른 TOC의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 나타난 바와 같이 사용된 양이온성 및 음이온성 polymer의 주입농도는 0.1 mg/l로서 예비실험 결과 50 mg/l의 alum과 사용할 때 선정된 최적의 주입 농도이었다. TOC 제거를 위한 최적 pH 범위는 6~7로 나타났으며 pH 7 이상에서는 TOC 제거효과가 급격히 감소하였다. 그러나 양이온성 polymer를 alum과 함께 응집보조제로 사용하였을 경우 alum 단독에 비해 모든 pH 영역에서 응집효과가 우수하게 나타났다. 그리고 pH 8 부근의 비교적 높은 pH 범위에서는 alum 단독의 경우 응집 후 TOC 농도가 5.6 mg/l 인 반면 polymer를 함께 사용한 경우에는 4.5 mg/l로 1.1 mg/l 정도 낮게 나타났다.

Fig. 6에 pH별 UV-254 absorbance의 변화를 나타내었다. UV-254 흡수 유기물질 제거를 위한 최적 pH는 pH 6 이었으며, TOC와 마찬가지로 전 pH 영역에서 양이온성 polymer를 응집보조제로 사용해준 경우가 응집 pH의 영향을 가장 적게 받으면서 높은 UV-254 흡수 유기물질 제거 정도를 나타내었다. 낙동강 하류부 상수

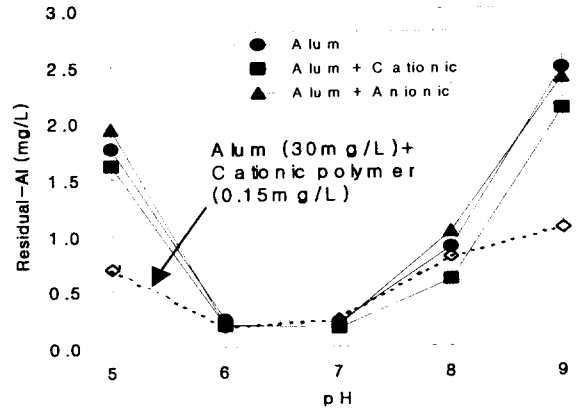


Fig. 7. Effect of coagulation pH on the removal of residual Al (Alum: 50 mg/l, polymer: 0.1 mg/l).

원수의 경우 연간 pH가 9.0 이상인 경우가 6개월 이상인 점을 감안할 때 상수원수중의 유기물을 보다 효율적으로 제거하기 위해서는 적정량의 양이온성 polymer의 응집보조제로서의 사용이 필요하다고 사료된다.

응집 pH별 잔류알루미늄의 변화를 Fig. 7에 나타내었다. Fig. 7에 나타난 바와 같이 잔류알루미늄의 농도를 최저로 유지하기 위한 최적 pH 범위는 6~7이었으며, 이 범위를 벗어나게 되면 잔류알루미늄의 농도가 급격히 증가하였다. 따라서 본 연구에서는 alum의 사용량을 50 mg/l에서 30 mg/l로 40% 줄이는 대신 응집보조제로 0.15 mg/l의 양이온성 polymer를 사용하였다. 그 결과 TOC, UV-254 등의 유기물 제거 측면에서는 alum 단독으로 50 mg/l 사용하였을 때와 비슷한 응집 효과를 얻을 수 있었으며(Fig. 1 과 2), 높은 pH 범위에서의 잔류알루미늄 농도도 현저히 줄일 수 있었다. 따라서 pH 8 이상인 원수의 효과적인 처리를 위해서는 alum 단독보다는 polymer를 응집보조제로 함께 사용해 주는 것이 응집의 효율을 높이고 동시에 잔류알루미늄의 농도를 최저로 유지하기 위해 바람직한 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구는 낙동강 원수를 사용하여 먼저 polymer를 응집보조제로 사용할 경우 최적의 주입시점을 결정해준 다음 주 응집제인 alum 사용량의 감소효과 분석 및 alum 단독, alum+양이온성 polymer, alum+음이온성 polymer의 응집 pH별 응집효과를 비교해 보았으며, 그로 인한 잔류알루미늄 농도의 저감효과를 분석해 보았다. 이상의 실험으로 도출된 결과는 다음과 같았다.

1) 응집보조제로 양이온성 polymer를 사용할 경우 alum 단독 또는 음이온성 polymer를 함께 사용할 경우 보다 낙동강 상수원수내의 유기물 제거 측면에서 가장 우수한 응집효과를 나타내었다.

2) 양이온성 polymer를 응집보조제로 사용할 경우 0.15 mg/l 사용으로 동일한 유기물 제거를 위한 alum의 사용량을 60 mg/l에서 30 mg/l로 50% 정도 감소시

킬 수 있었다. 이는 일 평균 생산량이 40만 톤인 부산시의 H 정수장을 기준으로 계산해 볼 때 24톤에서 12톤으로 alum의 사용량을 하루에 약 12톤 정도 줄일 수 있는 효과를 얻을 수 있었다.

3) 음이온성 polymer를 응집보조제로 사용할 경우 0.15 mg/l 사용으로 alum의 사용량을 50 mg/l에서 30 mg/l로 40% 정도 감소시킬 수 있었다.

4) 양이온성 polymer를 응집보조제로 사용하여 pH별 응집특성을 실험한 결과 최적 pH 범위는 6~7로 나타났으며, 모든 pH 범위에서 전반적으로 양이온성 polymer를 alum과 함께 응집보조제로 사용하였을 경우 응집 효과가 가장 우수한 것으로 나타났다.

5) pH 7 이상에서는 알루미늄의 응집효과가 급격히 저하되고 동시에 잔류알루미늄의 농도가 매우 높게 나타났다. 그리고 alum 단독으로 적정농도 이상으로 주입 농도를 증가시켜 주었을 경우 잔류알루미늄의 농도도 급격히 증가하였으나, polymer를 응집보조제로 사용함으로써 응집제 사용량의 증가 및 높은 pH 범위에서 잔류알루미늄 농도의 급격한 증가 정도도 저하시킬 수 있었다.

감사의 글

The authors wish to thank the Regional Research Center (RRC), the Institute for Environmental Technology and Industry (IETI) for their financial support to the project. RRC project number : 96-10-02-03-A-3

참고 문헌

APHA-AWWA-WPCF, 1995, Standard methods for the examination of water and wastewater,

19th Ed.

- Black, A. P., Birkner, F. B., and Morgan J. J., 1965, Destabilization of dilute clay suspension with labeled polymers, JAWWA, 57, pp 1547.
- Crapper, D. R., Krishnan, S. S., and Dalton, A. J., 1973, Aluminium in Alzheimers Disease and Experimental Neurofibrillary Degeneration, *Sci.*, pp511.
- Davison, A. M., 1982, Water Supply Aluminium Concentration Dialysis Dementia and Effect of Reverse Osmosis Water Treatment, *Lancet*, 785pp.
- Edzward, J. K., W. C. Becker and S. J. Tambini. 1987. Organics, Polymers, and Performance in Direct Filtration. *J. Envir. Engig. Div.*, ASCE. 113, 1, pp989-1000.
- Gregory, J. 1989. Fundamentals of Flocculation. *Critical Reviews in Environmental Control*. 19, 3, pp185-230.
- La Mer, V. K. and T. W. Healy. 1963. Adsorption-Flocculation Reaction of Macromolecules at the Solid-Liquid Interface. *Reviews of Pure and Applied Chem*. 13, pp112.
- Michaels, A. S. 1954. Aggregation of Suspensions by Polyelectrolytes. *Ind. Engrg. Chem*. 46, pp 1485-1490.
- Montgomery, J. M., 1985, Consulting Engineers Inc. Water Treatment Principles and Design. John Wiley and Sons Inc., New York, NY. pp 116-134.