

1. 서론

자연 유기물을 제거하기 위한 공정으로 응집, 흡착공정, 오존산화공정, 전염소처리, 막분리 등이 있다. 용존성 유기물질들은 응집제와 물리화학적 으로 결합하여 제거되는데, 기존 정수처리공정을 통해 제거되는 용존유기 물질(Dissolved Organic Carbon, DOC)의 제거율이 30~50%로 상당히 낮다(Sandrucci et al., 1995).

우리나라도 상수원의 오염이 날로 심화되고 있어 소독부산물을 저감시키 기 위한 오존 및 생물 활성탄공정과 같은 후속 추가공정의 도입이 추진되고 있으나, 고도정수처리공정의 도입 이전에 기존 표준공정의 효율향상을 위한 최적화가 선행되어야 한다(Hooper and Sturart, 1996). 따라서 본 연구에서는 응집공정을 제어할 수 있는 것으로 알려진 Zeta Potential을 이용한 응집제 투입량을 고찰하고, 기존의 Jar-test와 비교함으로써 정수 처리에서 응집공정의 향상을 위한 방안을 강구하고자 한다.

Zeta Potential을 이용한 응집효율 향상 기법 개발



글 전용성 · 유희종 · 김주원 · 노재일 · 조익환 _ 인천광역시 상수도 사업본부 수질연구실



(1) 연구내용

원수 및 각 공정별로 THMs, DOC, UV흡수물질(UV220, UV254, UV260)과의 효율을 각각 비교·평가하였다.

2. 문헌연구

지표수에 분산되어 있는 고형물의 대부분은 10⁻⁷mm에서 10⁻¹mm 사이의 입자크기를 가지는 침전하기 어려운 부유물질들로 구성되어 있다. 10⁻⁶mm에서 10⁻³mm의 입자크기를 가지는 부유입자를 콜로이드라고 하는데, 침전 불가능한 대부분의 물질은 바로 콜로이드상태의 미립자이다. 이 같은 콜로이드 상태의 물질과 미세한 부유고형물질에 응집제를 첨가하여 급속으로 혼합시켜 불안정화(Destablization)되고 불안정화 된 입자를 서로 부착하게 하는 조작을 응집(Coagulation)이라고 한다.

Stumm과 O'Melia(1968)는 화학적인 인자들이 콜로이드의 불안정화를 이루는데 더 효과적이라고 하였다. Black(1960)과 Chen(1965)은 전기적

인 학문을 수처리 분야에 도입하여 응집 메커니즘을 전이이중층 이론으로 설명하였다.

이중층 이론에 따르면, 콜로이드 입자가 수중에서 입자-물 계층에서 전기적인 전하를 띄게 된다. Stern-Guoy의 전기적인 이중층 모델은 전하를 띤 입자 주위를 설명하고 있다. 이들 전위 중에서 Zeta Potential이 콜로이드의 특성과 안정성을 설명하는데 대표적인 인자이다. 이중층 이론에서 입자를 응집시키려면 Zeta Potential을 한계값 이하로 낮추어야 한다. 점토질 콜로이드의 경우, 이 한계값은 일반적으로 약 $0 \pm 10mV$ 정도이다.

응집은 Zeta Potential의 감소로 일어나는 개개 입자의 결합으로 볼 수 있다. 응결은 교반에 의한 응집된 미세플록의 조대화 과정이라고 할 수 있다.

Al염 또는 Fe염에 의한 응집은 두 가지 메커니즘에 의해 이루어진다. 첫째, 전하 중화를 위한 콜로이드 상에 수화물의 흡착, 둘째, 침전하는 수화물과 함께 일어나는 Sweep Coagulation이다. Alum에 의한 전하중화와 반응은 아주 빨라 0.0001~1초 이내에 일어난다. Sweep Coagulation 전에 형성되는 알루미늄 수화물은 1~7초 정도 걸린다.

3. 실험방법

(1) 시료

본 실험에 사용된 대상시료는 한강수계 풍납원수를 이용하였다.

(2) 분석방법

DOC는 시료를 0.45 μm Pore Size PVDF(Polyvinylidene Fluoride) Filter로 여과한 후 Combustion/Non-dispersive Detection 방식인 TOC-analyzer(TOC 5000, Shimadzu, Japan)로 측정하였다. 입자의 입도분포 및 Zeta Potential 측정은, PAMAS사의 SVSS Counter(Model S/N 9032) Sensor는 HCB-LD-50/50를 사용하여 1-200 μm 의 입자크기를 측정하였으며, Zeta전위는 Automatic Charge Analyzer PCD O3 PH-S를 이용하여 측정하였다.

(3) 실험장치

Pilot Plant는 A, B 2개의 계열로 구성되어 혼화, 응집, 침전, 여과수를 각각 상호 비교할 수 있도록 하였고, 처리용량은 각 계열당 100m³/day이다. Ultrafiltration Fractional 장치는

Stirred Ultrafiltration Cell(Model 8200, Amicon)로 200mL 용량의 UF Cell과 주위를 둘러싼 Clamp로 구성되어 있다. Ultrafiltration에 사용되는 멤브레인은 친수성이고, Cellulose Acetate로 만든 YM과 YC(Amicon Diaflo Membrane) Series로 멤브레인의 규격은 YM30(30k MWCO), YM10(10K MWCO), YM3(3K MWCO), YM1(1K MWCO), YC05(0.5K MWCO)를 사용하였다.

구분	분자량분류	표기
저분자량	1K	LMW
중분자량	1-10K	MMW
고분자량	10K	HMW

표 1) Molecular Weight Distribution

막의 직경은 62mm이고, 표면적은 27cm²이다. 본 연구에 사용된 실험장치는 그림 1)과 같다.

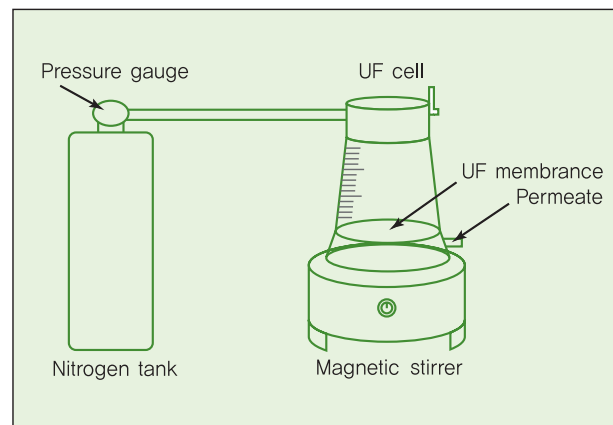


그림 1) Experimental Apparatus for the AMWD Analysis

4. 결과 및 고찰

(1) 적용원수의 수질특성

실험에 사용한 원수는 계절별로 상이한 특징을 나타내었다. 즉 여름에는 빈번한 강우로 100NTU 이상의 고탁도와 알칼리도 30mg/L내외를 보였고, 봄, 가을에는 알칼리도가 50mg/L, pH가 8 또는 9를 나타내 정수처리를 어렵게 하였다. 겨울철에는 저수온, 저탁도의 특징을 보였다. 총유기탄소의 농도는 여름이 다른 계절보다 높게 나타났고, SUVA는 대부분 3 이하를 나타내고 있다.

Edzwald(1993)에 따르면, SUVA값이 3 이하인 경우에는 높은 SUVA(4~5)와 비교하여 상대적으로 친수성, 비방향족, 저

분자량에 속하며 응집에 의해 잘 제거되지 않는 것으로 보고 한 바 있다.

Pilot Plant 가동기간의 풍납취수장 원수의 성상은 표 2)과 같고, 분자량 분포별 UV흡수물질, 용존유기물질, THMs의 관계를 그림 2)에 나타내었다.

Item	Max.	Min.	Mean	Item	Max.	Min.	Mean
Turbidity(NTU)	8.95	3.11	3.98	UV220(cm ⁻¹)	0.673	0.562	0.647
pH	8.36	7.22	7.51	UV254(cm ⁻¹)	0.094	0.044	0.053
Alkalinity(mg/L)	53	29	41	UV260(cm ⁻¹)	0.091	0.042	0.047
Hardness(mg/L)	62	51	56	DOC(mg/L)	2.915	1.876	2.241
THM(mg/L)	0.0201	0.0107	0.0186	SUVA(L/mg-m)	3.22	1.49	2.37

표 2) 원수의 성상

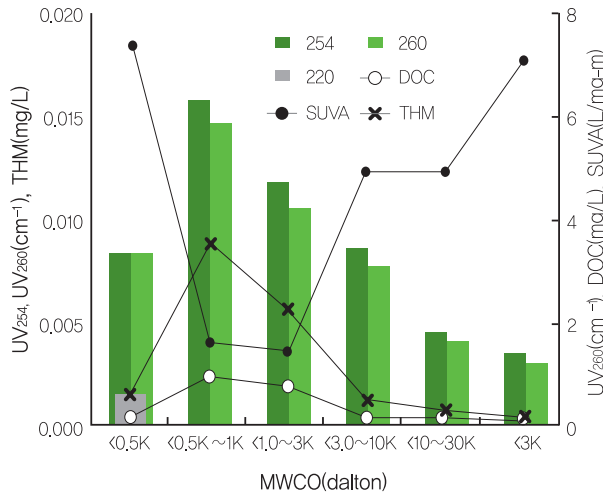


그림 2) 원수의 분자량분포별 특성

생물학적으로 분해가 용이한 저분자 화합물의 지표인 UV220은 0.5K 이하가 89.1%로 대부분을 차지하였으며, 0.5~1K는 4.2%, 3~10K가 2.8%, 10K 이상이 3.8%로 나타나 SO₄-2, NO₃-1 등 저분자 이온성 물질들이 많은 것을 알 수 있다.

원수의 DOC평균 농도가 2.241mg/L로 나타나 USEPA에서 규정한 염소를 투입하기 전 원수의 TOC농도가 2mg/L를 넘으면 소독 부산물을 제어할 수 있도록 고도응집을 적용하도록 권장하고 있어 한강(풍납)의 원수의 경우는 이에 해당되는 것으로 판단된다. Sierka와 Amy 등(1985)의 연구에 의하면, 분자량 5~10K 사이의 것은 화학적 응집 및 침전으로 잘 제거되지만 한강원수의 경우 거의 대부분이 10K 이하 저·중분량이 차지하고 있어 Fulvic Acid와 같이 물리·화학적으로 안정하

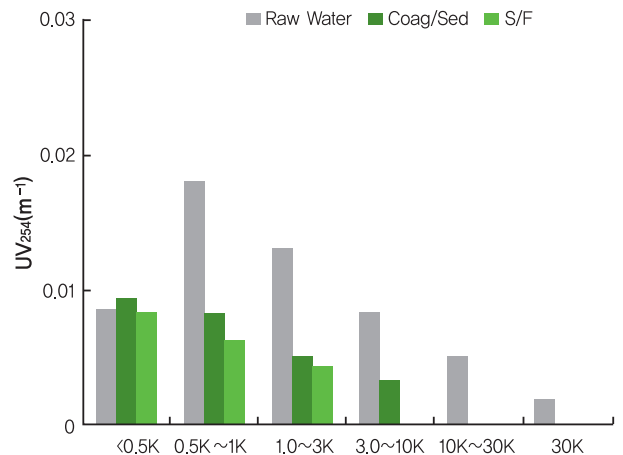
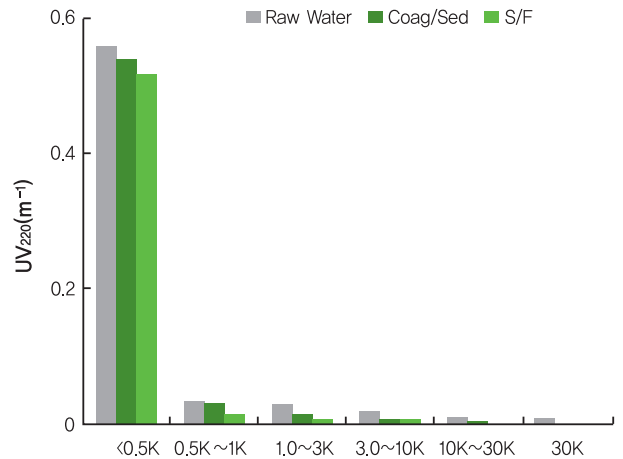
여 분해가 잘 되지 않으며, 또한 친수성이 강하기 때문에 응집 침전이나 흡착에 의해 처리하기가 어려운 물질이 많은 것으로 사료된다.

(2) Jar-Test에 의한 처리 수질변화

그림 3)은 Jar-test에 의한 응집제 주입시 공정별 UV흡수물질 변화를 나타내었다.

생물학적 분해가능한 저분자물질을 표현하는 UV220의 경우 공정별 제거효율은 16%로 모든 공정에서 저조한 것으로 나타났다.

DOC와 THMs와 밀접한 상관성을 지니고 있는 UV254의 경우는 응집·여과공정에서 10K이상의 고분자물질들은 100% 제거되는 반면 저분자에 속하는 1K이하 저분자량 분율은 원수에서 48.1%이던 것이 응집·침전공정에서 68%로 19.9%가 증가하였으며, UV260 흡수물질도 유사한 경향을 나타내었다.



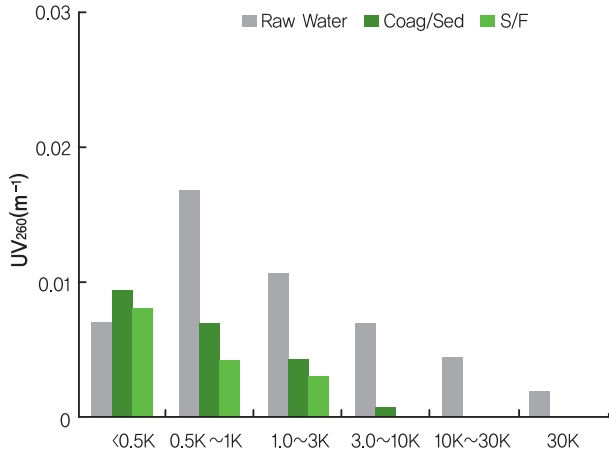


그림 3) 공정별 UV흡수물질의 분자량 분포 변화

그림 4)는 공정별 DOC와 THMs의 분자량분포의 특성을 나타내었다.

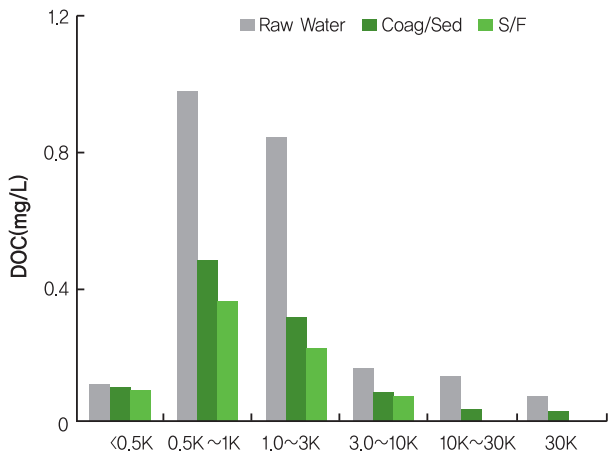
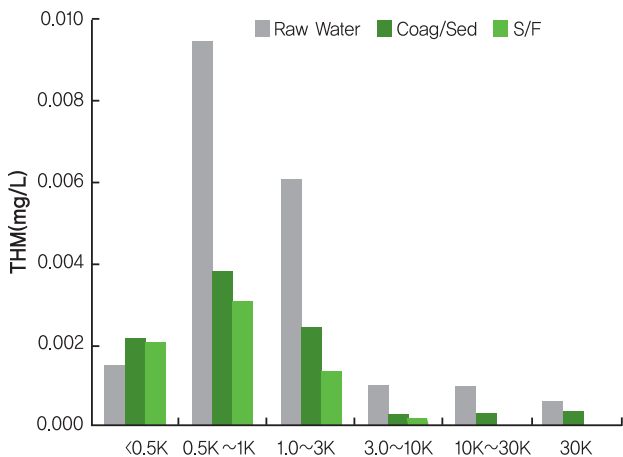


그림 4) 공정별 DOC및 THMs의 분자량 분포변화



여과공정에서 보면, 10K 이상 고분자물질은 전혀 검출되지 않았으며 1K 이하 저분자량 물질들은 11.7% 낮은 제거율을 보였다. 이는 여과공정에서도 저분자물질이 일부 제거는 되는 것으로 생각되나 유기탄소부분의 감소가 단순히 저분자화 되어 DOC의 제거량 감소로 보고 되고 있다(Edward, 1991).

그림 5)는 UV흡수물질과 용존유기물질, THMs의 제거효율을 나타낸 것이다.

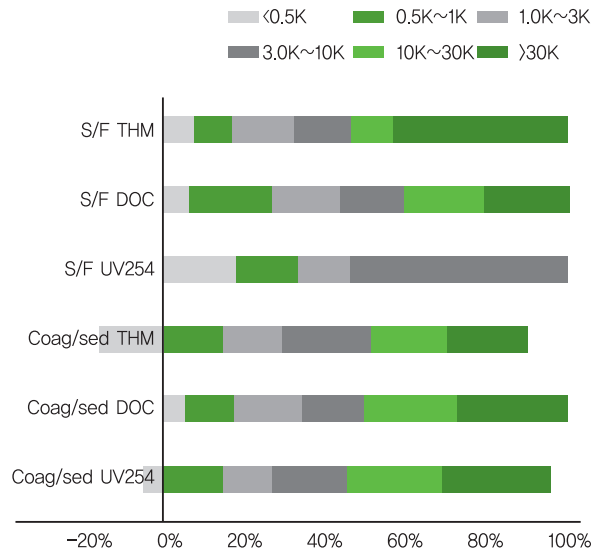


그림 5) 공정별 UV254, DOC, THMs의 제거효율

THMs도 저분자화된 1K이하의 저분자물질들이 제거효율을 방해하면서 응집·침전공정에서 53.9%, 여과공정에서 12.0%로 전체제거율 65.9%로, 생물활성탄 등 저분자물질을 제거할 수 있는 후처리공법이 뒤따라야 할 것으로 판단된다.

(3) Zeta Potential에 따른 공정의 수질변화

그림 6)은 Zeta Potential에 의한 응집제 주입시 공정별 UV 흡수물질 변화를 나타내었다. 생물학적 분해 가능한 저분자물질을 표현하는 UV220의 경우 공정별 제거효율은 원수에서는 1K이하 저분자물질이 차지하는 비율이 92.7%에서 응집·침전공정에서 98.3%로 5.6% 증가하였으며, 여과공정에서 99.6%로 1.8%가 증가한 것으로 보아 처리공법에 있어서도 생물학적 분해가능한 저분자 물질 중에서 1K 이하인 저분자량 물질을 제거해야 할 것으로 생각된다.

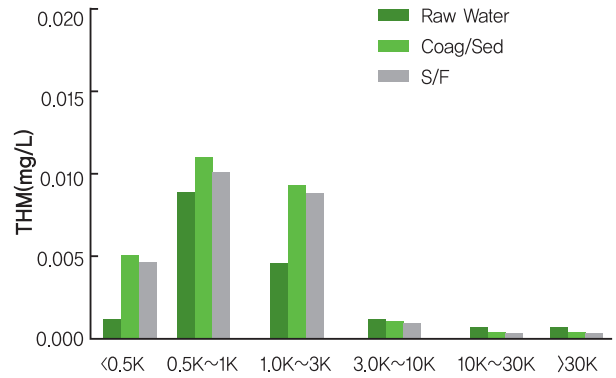
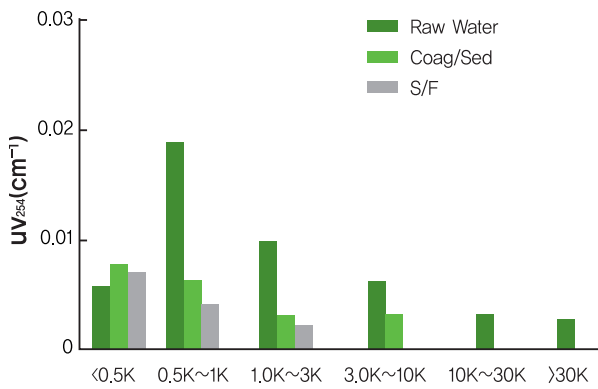
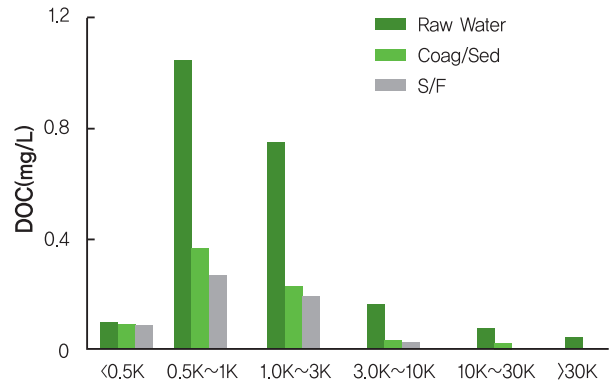
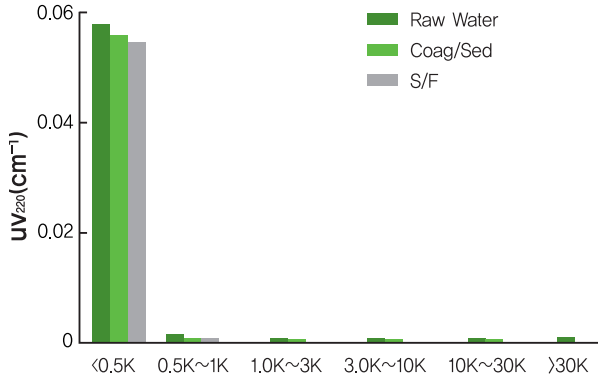


그림 7) 공정별 DOC 및 THMs의 분자량 분포변화

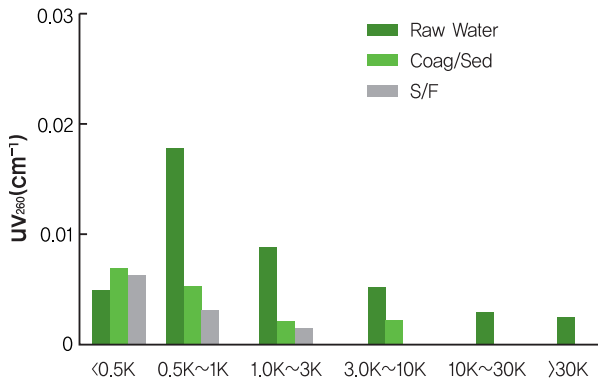


그림 6) 공정별 UV흡수물질의 분자량분포 변화

THMs와 특별한 상관성을 지니고 있는 UV254는 원수에서 차지하고 있는 1K 이하의 비율은 49%였고, 응집·침전공정에서는 75%로 26%가 저분자량 물질로 되었으며 여과공정에서는 86.7%로 고분자량물질인 10K 이상은 제거율 100%이지만 이는 제거되는 방향으로 보는 것 보다 파괴점 염소주입을 하지 않아 완전산화가 이루어지지 않고 단순히 저분자량화 되는 것으로 판단된다.

그림 7)은 공정별 DOC 및 THMs의 분자량분포 변화를 나타내었다. 공정별 DOC 분자량분포 변화를 보면 1K 이하 저분자량 물질은 원수에서 49.2%이고, 응집·침전공정은 63.2%, 여과공정 64.2%로 공정별로는 증가하는 경향을 보이고 약품을 투입하는 응집·침전공정에서는 14%의 높은 증가율을 보이다가 여과공정에서는 1% 증가를 나타냈다.

THMs의 경우 저분자량에 속하는 1K 이하 물질에서는 원수에서 53%로 가장 많은 비율을 차지했으며, 10K 이상 고분자량은 9.3%로 가장 낮은 분포도를 보였다. 응집·침전공정에서는 1K 이하의 원수에서 6.5%가 증가한 59.5%로 나타났고, 여과공정에서는 응집·침전공정보다 1.9%가 미소하게 증가한 61.4%로 나타났다.

그림 8)은 공정별 UV254, DOC, THMs의 제거효율을 나타낸 것이다. DOC의 경우 제거율은 응집·침전공정에서 60.3%로 B line보다 제거율이 좋았으며, 여과공정에서는 9.4% 제거율로 총 제거율 69.7%를 보여 미소하게 다른 공정들보다 높은 제거율을 보였다.

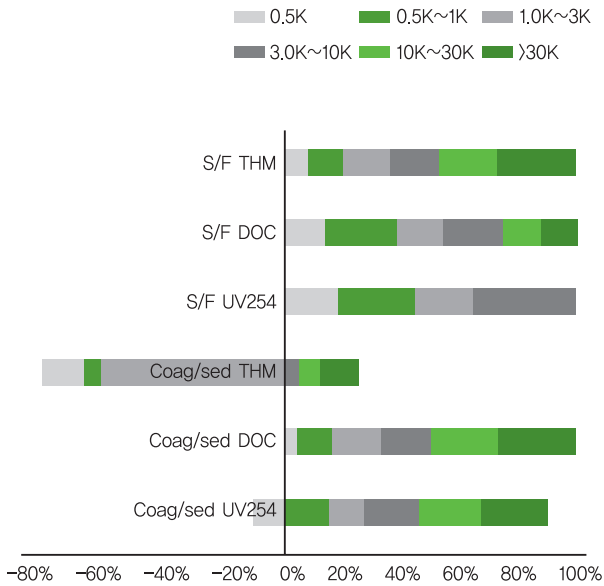


그림 8) 공정별 UV254, DOC, THMs의 제거효율

5. 결론

본 연구의 목적은 기존의 정수공정에서는 응집제 주입량 결정 방법이 주로 Jar-test, 약품투입 조건표, 연산식에 의한 투입 방법 등이 이용되고 있으므로, 원수의 수질이 급격히 변화하는 시점에서 즉시 대처하는 것이 불가능하여 본 연구에서는

실시간으로 응집공정을 제어 할 수 있는 효율적인 응집 방안을 평가 하였다.

(1) Pilot Plant에 유입되는 원수의 UV흡수물질 분자량분포는 UV254와 UV260의 경우는 1K 이하는 42.6%, 47%, 1~10K는 38.7%, 38.3% 10K 이상 고분자물질은 18.6%, 14.9%로 다양한 분포도를 보이고 있으며, THMs와 DOC의 경우, 1K 이하가 52.6%, 47.3%, 1~10K는 39.7%, 47.2%였으며 고분자량인 10K 이상은 7.7%, 5.5%로 나타났다.

(2) A, B공정 모두 응집·침전공정에서 전체 제거율의 77~84.2%가 제거되어 DOC는 대부분이 응집·침전공정에서 제거되는 것을 알 수 있고, 여과공정에서는 모두 10%대의 낮은 제거율을 보였다. 전반적으로 응집·침전공정에서의 DOC 분자량 분포도를 살펴보면, 1K 이하의 분자량이 전체의 54.3%로 원수의 47.3%보다 7% 증가한 반면, 중분자량에 속하는 1~10K는 9.6%제거되는 효과를 보였고, 10K 이상 고분자량은 18.5%의 제거효율을 보여 중·고분자량이 처리되는 일정부분은 완전산화 되지 못하고 저분자화 하는 유기물의 분자형태가 공정에 따라 변한 것으로 생각된다. ㉠

상·하수도 시설기준 2004년 개정판 출판

우리 협회에서는 지난 97, 98년 개정되어 현재까지 사용되어 오고있는 상·하수도 시설기준의 새로운 개정판을 오는 6월에 출판하여 판매할 예정입니다. 이번 개정판을 위해 그동안 도출된 문제점 등을 보완·개선하고 변화된 기술변화 추이를 반영하여 상·하수도에 관한 종합 지침 및 해설서로서의 역할을 성실히 수행할 수 있도록 최선을 다 하였습니다. 이에 상·하수도 업무에 종사하시는 여러분들의 많은 관심 부탁드립니다.

1. 제 목 : 상수도시설기준 (가제) / 하수도시설기준 (가제)
4. 출판일정 : 2004년 6월 중
3. 가 격 : 미정

☎ 문의처 : 상수도팀 이연미 / 하수도팀 최성현 (Tel : 02-384-8151~4)

* 보다 자세한 사항은 추후 협회 홈페이지 및 공문 등을 통해 공지 예정이며 구매를 원하시는 분들은 협회로 문의 바람

교육
훈련

정보

행사

시험

www.kwwa.or.kr

물은 생명 그리고 미래입니다