

정수장 시설에서의 TOC 분석

양민혜 대리 / 영인에스티(주) 환경기술사업부
mhyang@younginst.com



총유기탄소(TOC, Total Organic Carbon)는 소독 부산물(DBPs, Disinfection by Products)과 밀접한 관계가 있어 최근 먹는 물(Drinking Water)의 수질을 분석하는 중요한 항목으로 활용되고 있다. TOC 자체로는 유해하지 않지만 정수처리 과정에서 살균제와 반응하면 유해한 부산물이 생성될 수 있기 때문이다. 그렇다고 먹는 물에서의 TOC가 단순히 DBP 법규 준수나 TOC 모니터링을 위해 사용되는 것만은 아니다. TOC는 수처리 공정과 관련된 비용을 최적화하여 비용을 절감하는데 중요한 매개 변수로도 사용되며, 원수 및 공

급수의 안전성을 나타내는 지표가 된다. TOC는 먹는 물과 관련된 크고 작은 설비와 시설에서 다양하게 적용될 수 있고, 실험실 분석 및 처리 공정에서 실시간으로 TOC를 측정할 수 있다.

관련 법규(소독 부산물)

미국 환경청(US EPA)의 'Safe Clean Drinking Water Act'는 병원성 미생물과 미생물을 제거하는데 사용된 소



정수장 시설에서의 TOC 분석

독제의 부산물(DBP)에 의해 나타나는 위해성을 파악하기 위해 노력해왔다. 부산물인 DBPs는 원수를 소독하는 공정에서 자연적으로 발생하는 유기물(NOM, Naturally occurring Organic Matters)과의 상호 작용으로부터 형성되고, TOC는 물 중의 NOM의 양을 측정하는데 사용되는 척도로서 세계적으로 인정받고 있다. HAAs(Haloacetic Acids)와 같은 DBPs는 물이 정수장의 급수 시스템을 통과할 때, 접촉시간이 증가하면서 계속 형성된다. 트리할로메탄(THMs, Trihalomethanes)은 TOC와 자연적으로 발생하는 bromide 및 chlorine의 상호작용으로 형성되는 클로로포름(Chloroform)을 포함한 DBP의 또 다른 부류로 알려져 있다.(그림 1 참조)

미국 환경청(US EPA)이 DBP 전구물질로 간주하고 있는 TOC는 급수 시스템에서의 DBP 수준을 예측하기 위해 실험실 또는 온라인으로 모니터링할 수 있어야 하고, DBP 수준을 줄이기 위해서는 먹는 물 생산 공정에서 많은 양의 TOC를 제거해야 한다. TOC 제거 공정에는 응집, 입상 활성탄(GAC, Granular Activated Carbon) 필터 및 음이온 교환이 사용된다.

비용 절감 - 처리의 최적화

오늘날 미국 내 많은 정수처리장에서는 TOC 모니터링을 이용한 프로세스 최적화를 통해 고품질의 물을 생

산함과 동시에 다양한 처리 공정에서 상당한 비용 절감 효과를 얻고 있다.

(1) 응 집(Coagulation)

TOC를 제거하는 주요 처리공정 중의 하나는 응집이다. 응집한 후에 일반적으로 응결(Flocculation)과 정제(Clarification) 과정을 거치는데, 이러한 과정은 전통적으로 사용되는 기법이다. 미국에서는 이러한 전통적인 처리 방식을 사용하는 시설에서는 수원의 알칼리도와 TOC 수준에 따른 TOC 제거율을 만족시켜야 한다.

일반적으로 사용되는 응집제(Coagulants)는 황산알루미늄(Aluminum sulfate) 또는 명반 Alum), 염화제2철(Ferric chloride), 황산제2철(Ferric sulfate), 폴리염화알루미늄(Polyaluminum chloride, PACl)이다. 적당한 응집제의 선택과 투여량은 pH, 알칼리도, 온도, 슬러지 형성과 같은 인자들은 물론 수질에까지 영향을 준다. 응집교반실험(Jar testing), 파일럿실험(Pilot testing), 실제 규모로의 최적화 실험을 통해 특정 응집방법의 효율을 확인할 수 있지만, TOC와 탁도 측정을 병행하면 좀 더 효율적으로 예측할 수 있다.

(2) 활성탄(Activated Carbon)

활성탄은 나무, 석탄, 코코넛 껍질과 같은 물질로부터 만들어진 가공된 탄소의 형태이다. 이 물질은 다공성이므로, 용해되어 있는 유기물 및 맛, 냄새를 유발하는 화합물과 일부 소독 부산물을 흡착시킬 수 있을 만

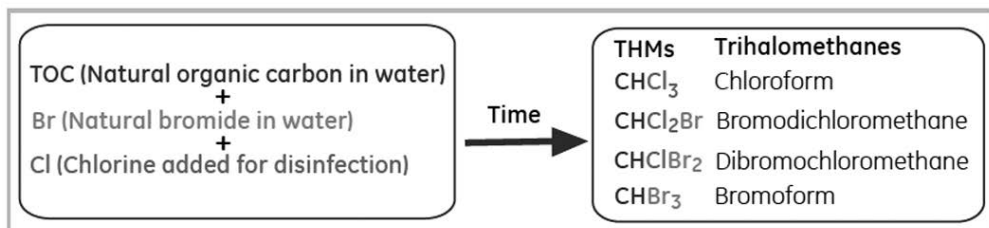


그림 1. THMs formed from TOC, Bromide, and Chlorine

환경측정 동향과 정수장의 효율적 관리

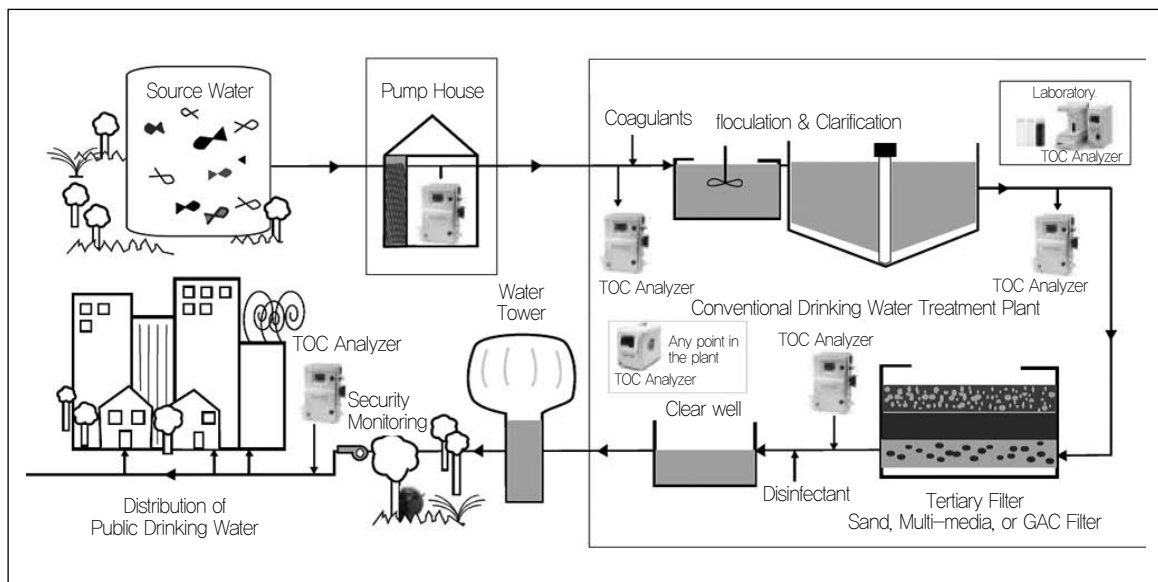


그림 2. TOC in the Drinking Water System

큼 매우 큰 표면적을 가지고 있다. 활성탄은 과립이나 분말 형태로 정수장에서 가장 일반적으로 사용된다.

(3) 분말활성탄

(Powder Activated Carbon, PAC)

PAC는 분말 형태의 활성탄으로서 특정 계절 또는 단기간에 맛과 냄새에 대한 문제를 해결하기 위한 응집보조제로 사용된다. TOC를 제거하기 위해 PAC를 사용할 때에는 PAC가 실제적으로 얼마나 많은 TOC를 제거하고 있는지를 이해하여 PAC 첨가량을 최적화하는 것이 중요하다.

(4) Granular Activated Carbon(GAC)

GAC는 PAC에 비해 상대적으로 입자가 커서 표면적이 작다. GAC는 전통적으로 모래나 무연탄 대신 필터로 사용하는데, 수질에 문제가 있을 때 사용하는 해결 방법으로 오래도록 사용되어 왔다. GAC의 흡착효율은 시간이 지남에 따라 감소되므로 교체하거나 재생시켜

주어야 한다. CAG 필터가 원수원으로부터 오염물질을 효율적으로 제거하여 원하는 수질을 유지하고 있음을 확인하기 위해서는 TOC를 통해 수질을 모니터링을 해준다. 용존 유기물을 제거하기 위해 CAG를 사용할 때 TOC가 갑자기 높아진다면 활성탄의 교체 또는 재생이 필요하다는 것을 의미한다.

(5) 이온교환(Ion Exchange)

이온교환은 흡착(Adsorption)작용을 이용해 물로부터 이온 형태의 오염물질을 제거하는데, 특별 수지(Resin)를 사용한다. 이온교환은 무기물을 제거하기 위해 오래전부터 사용되어 왔으며, 이온교환 수지는 보통 염용액(Salt solution)으로 재생한다.

처리 방법을 최적화하기 위해서는 적합한 분석장비를 이용하여 성공 여부를 평가하는 것이 중요하다. 그림 2에서는 기존의 정수처리장에서 TOC 분석을 활용할 수 있는 위치를 나타내고 있다.



정수장 시설에서의 TOC 분석

공정의 최적화 - 소독 기술

물에 철분이나 망간이 많은 경우 소독제의 공급 속도는 더 빨라야 한다. TOC는 소독제와 관련이 깊어, 처리 과정에서 TOC 제거를 적게 하면 할수록 더 많은 소독제가 필요하게 되고, 그 비용도 더 증가할 것이다. 사실, 소독 과정은 TOC와 같은 물질의 자연 산화제 요구와 경쟁된다. 따라서, 바이러스의 불활성화를 관리하는 동안 TOC 수준을 고려해야만 한다.

변수 측정 - 먹는 물의 환경 변화

먹는 물 중의 TOC에 가장 많은 영향을 주는 것은 조류, 퇴적물, 물속에 있는 입자 등 자연적으로 생겨난 식물이 부패하는 것이다. 수원(Water Source)의 TOC 함량은 지역에 따라, 수역 유형에 따라, 심지어 수원 내의 계절에 따라 다르다. 예를 들어, 녹조(Algae Bloom)는 여름과 초가을 때는 더욱 두드러져 원수의 유기물을 증가시킨다. 또한 산업용 용제, 탄화수소, 살충제, 제초제와

같은 산업 자원에서 파생된 인공의 유기화학물질이 많이 존재하면 이 역시 TOC에 영향을 준다. 미국내의 많은 지방자치단체는 산업 오염을 나타내거나 수질의 계절적 감소 및 그들의 처리 공정을 수정할 필요를 예측하는 도구로서 TOC 분석을 사용하고 있다.

결론

TOC는 광범위하고 다양한 응용에 걸쳐 설비가 DBP 규정을 준수하는 데 도움이 되는 도구로서 널리 알려져 있지만, 다양한 플랜트 공정을 최적화함으로써 비용을 절감하는 데에도 도움을 준다. 이 두 가지 이점 이외에도 TOC는 원수 또는 급수 시스템의 수질을 모니터링하고, 소독 전략을 극대화하는 데에도 유용하게 사용될 수 있다.

그러므로 사용하기 쉽고, 신뢰할 수 있는 검증된 기술을 갖춘 TOC 장비를 구비하는 것이 중요한데, 특히 이 TOC 분석기는 온라인 또는 실험실에서 사용할 수 있도록 제공되어야 다양한 물 응용 분야에 활용될 수 있다. 작업자가 온라인으로 실행하거나 간단히 시료를 채취하여 TOC 제거, DBP 제어 및 비용 절감이 적절히 잘되고 있는지 확인할 수 있도록 유연성을 제공하는 TOC 장비를 선택하여 활용하기를 바란다.



그림 3. 온라인 및 실험실용 TOC 분석기 예

[참고문헌]

TOC analysis : The best tool in a drinking water facility's toolbox (GE Analytical Instruments, Inc.)