

# 정수처리와 활성탄 이용

한국과학기술정보연구원  
전문연구위원 차성기  
(chapc@reseat.re.kr)

## 1. 서론

- 분말활성탄과 입상활성탄(GAC)은 흡착력이 높고 표면에서 발생하는 염소의 환원반응을 이용하여 정수처리에 한 공정으로 이용되고 있으며, 최근엔 활성탄의 공극에서 번식하는 미생물을 이용한 생물 활성탄 (Biological Activated Carbon : BAC) 처리도 있다.
- 활성탄은 유기물의 제거나 TriHaloMethane(THM)을 비롯한 전 유기 할로젠, 오존처리로 생기는 생물동화가 가능한 유기탄소 및 맛, 냄새의 원인물질을 제거할 수 있다.
- 1971년 일본 Osaka 수도국은 Biwa 호수에서 취수한 수돗물의 맛, 냄새의 원인물질을 제거하기 위해 분말활성탄 주입설비를 설치하였다.
- 또한, 2000년 3월부터 물속의 미량 유기물과 소독제인 염소와의 반응으로 인체에 영향을 미치는 THM 등 소독부산물과 곰팡이, 냄새 원인물질 제거를 위해서, 기존의 응집침전 및 모래 여과처리에 오존처리와 입상 활성탄처리를 추가한 고도 정수처리를 도입해서 시 전역에 공급하고 있다.

## 2. 활성탄을 이용한 정수처리

- 상수도에 사용하는 분말활성탄은 입경이 0.1mm보다 작아 기존 처리시설에 이용할 수 있으므로 계절적으로 발생하는 곰팡이 냄새나 계면활성제 및 농약의 제거 그리고 화학물질의 유출사고 대비용으로 사용된다.
- 분말활성탄은 접촉시간과 접촉효율을 높이기 위해 원수에 주입하고 제거 대상물질을 흡착한 분말활성탄은 응집침전, 모래 여과처리에 의

해서 원수속의 현탁 물질과 함께 제거된다.

- 분말활성탄의 주입률은 수도유지관리 지침에 따르나, 활성탄의 종류에 따라 제거능력이 다르므로 실험에 의해 주입률을 결정하고 있다.
- 응집침전 후의 중간 염소처리에 10mg/ℓ의 분말활성탄을 주입할 때 6%의 THM, 11%의 클로로포름이 저감되고 있는데, 분말활성탄은 입자가 매우 미세해서 수십 mg/ℓ에서 100mg/ℓ를 넘는 농도로 주입하면 모래여과에서 미분탄이 유출되므로 주의해야 한다.
- 입상활성탄 처리는 고정층 방식과 유동층 방식이 있으며, 활성탄을 충전하는 흡착지의 면적은 보통 약 50~150m<sup>2</sup>, 활성탄의 크기는 고정층 방식으로 응집침전지 뒤에 설치할 경우 1.2mm 정도, 급속 모래 여과장치 후에 설치할 경우 0.55~0.8mm이고, 유동층 방식에는 다소 작은 0.3~0.5mm의 입자가 사용되고 있다.
- 염소처리 한 처리 수의 THM, 곰팡이냄새, 색도 등을 흡착 제거하기 위해서 입상 활성탄으로 처리하며, 흡착력을 최대한으로 높이기 위해 앞 쪽에서 현탁 물질이나 일부 용해성 유기물을 제거한 다음 활성탄으로 처리하는 일이 많다.
  - 석탄계 활성탄은 약 20일 후부터, 야자껍질 계 활성탄은 약 30일 후부터 파과(破過 : Break through)가 일어나서 유출수 가운데 THM 농도가 유입수보다 높아지므로 활성탄을 재생시켜야 한다.
  - 비휘발성 용존 유기탄소(NVDOC)의 제거는 대체로 50일 후부터 제거율이 낮아지는데, THM과 달리 석탄계 활성탄의 제거율이 높아서 저분자량의 유기물인 THM과 고분자량의 유기물인 NVDOC는 입상 활성탄의 종류에 따라 흡착특성이 다르게 나타난다.
  - MIB(Methyl Iso Borneol)의 제거에서는 약 200일 후는 제거율이 90% 정도이나 2년간 계속할 때 50%로 감소하여 여과 계속일수가 길수록 제거율이 낮아지고 있다.
- 염소가 없는 물을 입상 활성탄에 유입시키면 여과층 내부에 미생물이 번식해서 흡착된 유기물을 분해하므로 활성탄의 수명이 연장되고, 재생비용도 절감되어 이를 도입하는 수도사업체가 많아지고 있다.

- 대체로 오존처리를 병행하며, 입상 활성탄은 응집침전 또는 급속 모래여과 뒤쪽에 설치하는데, 이는 원수를 직접 통과시키면 활성탄의 수명이 단축되기 때문이다.
- THM 전구물질(前驅物質) 및 NVDOC의 제거실험 결과를 보면, 오존 처리로 THM 전구물질의 제거율이 약 10% 향상되며 오존처리의 위치에 의한 영향은 없었는데, NVDOC의 제거결과도 비슷한 것은 오존에 의해 난분해성유기물이 분해하기 쉬운 유기물로 변화해 오존과 입상 활성탄 처리에서 제거율이 높아지기 때문이다.
- 유입 수에 염소가 없을 때에도 곰팡이냄새 원인물질은 입상 활성탄으로 효과적으로 제거되며, 오존에 의해서도 분해되므로 오존과 입상 활성탄을 조합시킨 정수 처리시스템에서 곰팡이냄새는 완전히 제거된다.
- 오존/입상 활성탄 처리에서 활성탄을 재생시키지 않고 6년간 계속 운전할 때의 THM 전구물질 제거 결과에 의하면, 60~80%가 장기간에 걸쳐서 안정적으로 제거되고 입상 활성탄만으로도 20% 정도가 제거되고 있어서 활성탄을 장기간 사용해도 미생물의 작용에 의해 오랫동안 사용할 수 있음을 보인다.
- 따라서 염소가 없는 물을 입상 활성탄 층에 유입시키면 층 내에 미생물이 증식하여 활성탄에 의한 흡착 이외에도 미생물에 의한 처리효과가 있어서 이를 생물활성탄 처리라고 하며, 장기간에 걸쳐 처리성능을 유지할 수 있다.

### 3. Osaka 시의 분말활성탄 정수처리의 실적

- Osaka 시에서 본격적으로 분말활성탄을 사용한 것은 1971년부터이며, 1981년부터 매년 정수장에 분말활성탄을 주입하였다.
- 곰팡이 냄새의 제거효과는 원수와 분말활성탄과의 접촉시간이나 주입률에 크게 좌우되어 장시간 접촉시키면 제거율이 높았다.
- 그러나 분말활성탄 처리로는 곰팡이냄새 원인물질을 완전하게 제거할 수 없으므로 오존과 입상 활성탄을 이용한 고도 정수처리로 완전히 제거할 수 있었다.

### 4. Osaka 시의 입상 활성탄을 이용한 고도 정수처리 현황

- 입상 활성탄 처리는 시스템의 말단에 설치해서 그 앞 또는 급속모래 여과지 앞에 오존처리를 병행하는데, 이는 중간의 오존 및 급속 모래 여과지에서 색도의 원인이 되는 망간을 제거하고 후단의 오존처리에서는 곰팡이냄새 등 미량유기물의 분해, 제거 및 유기물이 활성탄 층의 미생물에 의해 분해되기 쉽게 개질하기 위함이다.
- 고도 정수처리에 의해서 THM의 농도는 일반처리보다 1/3 정도까지 낮아져서, 연평균 기준치의 1/10 정도가 되며, 2-MIB 등도 영(0) 또는 기준치, 목표치 이하로 만족되고 있다.
- 또한, 소독 부산물이나 농약류의 농도도 낮아졌고 활성탄이 광범위한 물질을 흡착하므로 수질기준에 포함되지 않은 물질도 저감시키는 것으로 생각된다.

## 5. 입상 활성탄의 특성과 재생

### ○ 입상 활성탄의 처리성능

- 고도 정수처리에 사용되는 입상 활성탄은 흡착성이 높고, 동시에 자주 실시되는 역세정이나 재생에 대하여 마모 또는 열화되지 않아야 한다. 일반적으로 석탄계 활성탄보다 야자 껍질계가 경도가 높고 흡착성능도 좋아서 THM의 흡착제거에 적당하다고 한다.
- 생물활성탄 처리는 여러 미량의 유기물질을 장시간에 걸쳐서 제거하므로 원수 수질에 맞는 입상 활성탄을 실험 등으로 선택해야 한다.
- 또한, 입상 활성탄을 선정할 때는 처리성능 뿐 아니라, 원료 및 제조 공정에서 비롯되는 활성탄의 불순물이 처리수에 용출되지 않도록 고려해야 한다.

### ○ 입상 활성탄의 재생

- THM 등을 흡착 처리하는 경우 파과가 비교적 빨리 생겨서 입상 활성탄의 재생이 연간 1~4회 정도 필요하며, 생물활성탄 처리는 생물

효과에 의해서 장기간 제거성능이 유지되므로 일률적인 재생기준은 없으나 업체에 따라 3~4년마다 재생하는 경우가 많다.

- 요오드 흡착성능은 재생에 의해 회복되나 크게 낮아지면 재생으로도 초기 흡착성능으로 회복되지 않으므로 반복 재생할 경우 흡착성능의 회복정도를 고려해서 재생빈도를 결정해야 한다. 생물활성탄 처리에서 오존처리는 용존 오존에 의해 경도가 저하되거나 재생에 영향을 주게 되므로 입상 활성탄의 사용기간을 결정하는 한 가지의 요인이 된다.
- Osaka 시 수도국은 입상 활성탄의 요오드 흡착특성, 경도변화, 비용이나 환경에의 영향을 고려해서 입상 활성탄을 재생이용하지 않고 5~6년마다 새로이 교체하고 있다.

## 6. 결론

- 분말활성탄 처리는 기존시설에 이용할 수 있기 때문에 시설비가 적게 소요되나 곰팡이냄새 원인물질이나 소독부산물 등에 대한 처리효과는 한계가 있다.
- 입상활성탄 처리에 의해 THM을 흡착제거 하는 경우 비교적 일찍 파과가 시작되므로 자주 재생해야 한다.
- 염소처리가 없는 물을 입상 활성탄 층에 유입시키면, 흡착과 함께 층내의 미생물에 의한 생물활성탄 처리효과가 있다.
- Osaka 수도국은 염소처리를 하지 않고 응집침전 및 급속 모래여과에 중간 및 후단의 2단 오존처리와 입상 활성탄 처리를 추가한 고도 정수처리시스템을 채용해서, THM 농도를 일반 처리의 1/3까지 낮추며, 곰팡이냄새 원인물질도 100% 제거하고 있다.

출처 : 三輪雅幸, 吉川文人, 寺嶋勝彦, “浄水処理における活性炭の適用”, 「用水と廃水(日本)」, 49(4), 2007, pp.315~322

### ◁ 전문가 제언 ▷

- 고도 정수처리 시설은 기존의 여과방법으로는 제거가 어려운 맛, 냄새 원인물질(2-MIB, 지오즈민), 색도, THM, NVDOC, 미량의 유기물질을 제거하기 위한 오존, 생물활성탄 처리시설을 의미하고 있다.
- 서울시에서도 영등포 정수장을 시작으로 2016년까지 고도 정수시설을 도입키로 하고, 이와 함께 기존 모래 여과방식을 막 여과방식으로 대체하는 것도 추진하고 있다. 이외 대구시 등에서도 이미 고도 정수처리 시설로 개체해서 입상 활성탄 흡착을 채택하고 있어 시민의 수돗물개선에 나서고 있다.
- 멤브레인 여과방식은 여러 기존 공정을 단일공정으로 할 수 있어 콤팩트해지는 장점은 있으나 냄새, 암모니아 등은 제거가 안 되어 다른 보완 공정이 필요하다.
- 본문에서는 정수처리에서 활성탄을 이용할 때 분말활성탄, 입상 활성탄 및 염소처리 유무 등, 각 경우의 주의 점을 비교하고 Osaka 시의 사례를 소개하고 있다.
- 그러나 겨울철 고농도 암모니아성 질소를 제거하려면 파괴점 염소처리가 효과적인 면이 있고, 활성탄 흡착은 THM이나 THMFP를 제거하는데 효과가 있지만 활성탄의 재생주기가 짧아서 운영비가 상승하는 문제도 있다. 그리고 생물활성탄 경우도 겨울철 암모니아 성질소를 제거하는 데는 한계가 있어서 최근 선진국에서는 생물여재를 이용한 전 처리법을 도입 중이다.
- 따라서 우리 수질에 맞는 공정에서 활성탄의 장점을 최대한 이용하되 입상활성탄의 국내 생산으로 운영비도 최소화할 수 있는 방법을 개발해야 할 것이다.