

음용수 처리 공정에서 용존 유기물질 제거에 대한 생물활성탄의 처리 특성

이상훈, 문순식, 신중철, 최광근
심상준*, 박대원**, 이진원

광운대학교 화학공학과, 성균관대학교 화학공학과*, 한국과학기술연구원**

The characteristic of biological activated carbon process for removal dissolved organic matter in drinking water treatment facility

Sang-Hun Lee, Sun-Sik Mun, Jong-Chul Chin, Kwang-Keun Choi

*Sang-Jun Sim, **Dae-Won Park, Jin-Won Lee

Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University, Seoul, Korea

*Korea Institute of Science and Technology, Seoul, Korea

**Department of Chemical Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea

서론

오늘날 안전하고 깨끗한 물을 마시고자 하는 인간의 욕구는 늘어가고 있는 반면, 도시인구의 급증과 각종 산업의 발전으로 인하여 상수원의 수질오염이 가중되고 있다. 따라서, 물의 안정성과 관련하여 정수처리의 중요성이 강조되고 있으며, 이에 대한 해결책이 요구되고 있다. 또한 최근 미량오염물질의 검출 기술의 발전에 따라 정수처리 된 물 중에서도 유해화학물질, 발암물질 등이 잔류하고 있는 것으로 밝혀지고 있으므로, 기존의 정수처리 공정보다 좀 더 진보된 처리공정이 필요시 되고 있는 실정이다. 국내의 정수처리 현황을 보면, 음용수 처리기준은 선진국에 맞춰 강화되고 있지만 기술도입 및 정수처리에 대한 연구의 부족으로 설계, 시공, 운영 등 전반적인 기술들이 낙후된 상태이다. 따라서 고도정수처리시설 운영 및 건설을 위한 설계인자와 최적조건 도출을 목적으로 오존과 생물활성탄 공정을 이용하여 기존 정수처리로는 제거되지 않거나 제거효율이 낮은 용존유기물질과 난분해성 물질의 제거 경향 및 특성을 조사하고자 하였다.

실험

본 연구는 한강 원수를 사용하는 정수장 현장에서 취수된 물을 이용하여 기존 정수처리 시스템에 오존과 BAC(biological activated carbon) 공정을 결합한 semi-pilot plant의 실험을 약 10개월간 진행하였다. 일정기간(약 4주) 동안 입상활성탄(granular activated carbon : GAC)에 미생물 부착을 위한 순응기간을 갖은 후, 생물활성탄으로의 전환 후에 실험을 진행하였다. 직경 10 cm, 높이 265 cm의 3개의 BAC column을 설치하였으며, 충전시킨 활성탄은 국내산의 mesh size 4-8인 야자계(coconut) 입상 활성탄을 이용하였다. 수질분석 DOC(dissolved organic carbon), TN(total nitrogen), NH₃-N(nitrogen, ammonia)을 분석하였으며, 상수원수에 존재하는 용존 유기물질(dissolved organic matter)의 양을 측정하기 위하여 DOC를 분석하였다.

DOC는 0.45 μ m membrane filter로 여과한 후 1N HCl을 2-3방울 첨가하여 pH를 2이하로 떨어뜨린 후 순수가스로 무기탄소를 제거하여 비휘발성 유기탄소(non purgeable

organic carbon, NPOC)를 측정하였으며, 분석에는 TOC(total organic carbon) analyzer (PHARMA-TOC, Analytikjena, German)를 사용하였다. TN(total nitrogen)은 USEPA(united states environment protection agency)에 명시된 reactor digestion method를 이용하여 spectrophotometer (HACH-DR/2010)로 측정하였으며, UV₂₅₄ 흡광도는 Shmadzu mini-1240 spectrophotometer를 사용하여 측정하였다. 생물활성탄 공정의 모식도는 figure 1과 같으며, 본 연구에서는 다음의 3가지 처리 공정을 선정하여 실험을 진행하였다.

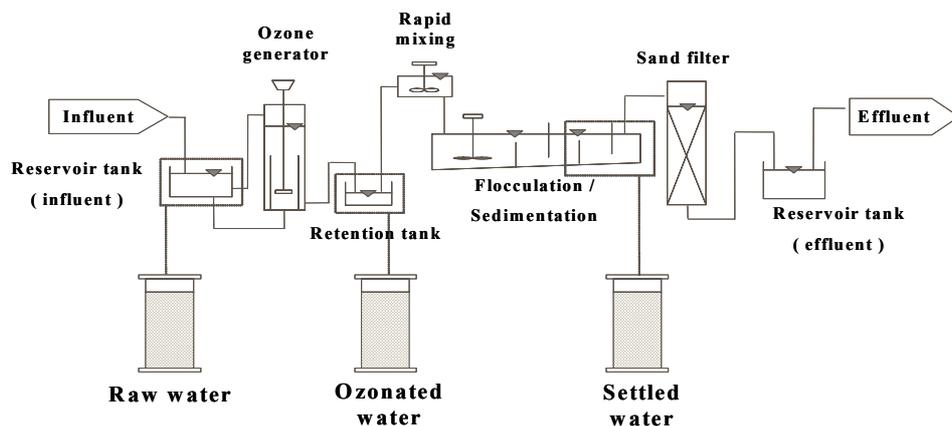
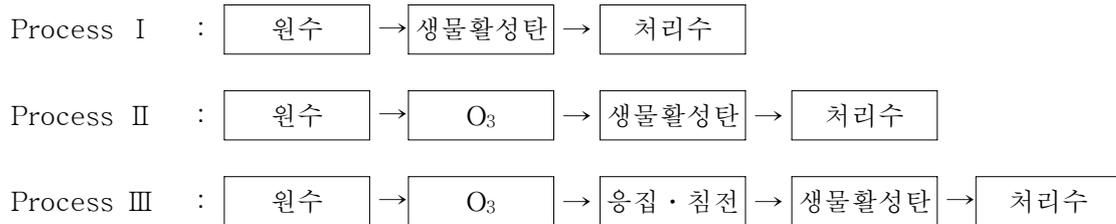


Figure 1. Schematic diagram of BAC bed apparatus

결과 및 토론

정수처리에서 자연유기물(natural organic matter, NOM)은 대개 총유기탄소(total organic carbon, TOC)와 용존유기탄소(dissolved organic carbon, DOC)에 의해 정량화된다. 그러나 침전과 여과를 거친 후에 대개 TOC와 DOC 차는 거의 없으므로 보통 혼용하여 사용하기도 한다. TOC 또는 DOC는 THM의 전구물질을 포함하는 유기물의 지표로서 THM(trihalomethane formation potential, THMFP)과의 일차 상관성이 높아 정수처리에서 많이 이용되고 있다. 또한, UV₂₅₄의 경우도 난분해성 물질이 많이 포함된 경우 높은 흡광도를 나타내므로 정수처리에서 오염도를 평가하는 지표로 이용되고 있다.

1. 생물활성탄에서의 용존유기탄소(DOC) 제거 특성

수중의 용존유기탄소(DOC)는 맛·냄새를 유발하고 발암물질인 유해 소독부산물의 전구물질로 작용할 수 있고 또한 배급수관망에서 미생물의 재성장의 원인이 될 수 있다. Figure 2는 BAC 반응조의 DOC 제거특성을 나타낸 것이다. 실험기간 중 원수의 농도는 평균 농도는 2.70 mg/L였고, 원수를 달리 적용한 각각의 BAC 반응조의 평균 DOC 제거

율은 각각 26.9 %(process 1), 30.7%(process 2)로 오존-BAC 공정의 제거율이 약간 높았으며 이것은 BAC 반응조의 전처리 공정인 오존의 영향으로 인한 생분해성 유기물의 증가와 BAC 반응조 내에서 생물활성이 활발함에 따라 제거효율이 향상된 것으로 사료된다.

2. 생물활성탄의 UV₂₅₄ 제거특성

UV₂₅₄는 방향족 화합물이 많이 포함된 경우 높은 흡광도를 나타내므로 용존 유기물을 평가하는 자료로 이용되고 있다. UV₂₅₄는 254nm의 자외부 파장에 감지되는 물질로 주로 이중결합을 가지고 있는 물질이 감지되며, 대표적으로 방향족 물질, 불포화 지방족으로 생각할 수 있다. Figure 3은 유입된 원수와 각각의 단위공정 처리수의 UV₂₅₄ 흡광도를 나타낸 그림이다. 원수의 UV₂₅₄ 흡광도는 실험기간 중 100-150 일 사이에 약간 높게 관찰되었으며, 원수의 평균 UV₂₅₄ 흡광도는 0.032 cm⁻¹를 나타내었다. 응집·침전 처리 시에 UV₂₅₄ 흡광도는 58% 가 제거되었으며, DOC와는 달리 응집·침전 처리에서 대부분 제거되는 것으로 관찰되었다. 원수를 유입시킨 BAC 반응조에서의 유입수인 원수의 흡광도는 0.032 cm⁻¹, 생물활성탄 처리수(process 1)의 UV₂₅₄ 흡광도는 0.017 cm⁻¹을 나타내 평균 45.3%의 제거율을 나타내었다. 유입수가 오존처리수인 경우 처리수(process 2)의 UV₂₅₄ 흡광도는 0.019 cm⁻¹를 나타내어 40.1%의 제거율을 나타내었으며, 오존-응집·침전처리수를 유입시킨 생물활성탄 반응조의 처리수(process 3)는 0.008 cm⁻¹을 나타내어 생물활성탄 처리 후 37.8%의 제거율을 나타내었다. 원수의 UV₂₅₄ 흡광도가 0.032 cm⁻¹임을 생각할 때, 응집·침전 처리와 생물활성탄 처리시의 전체 제거율은 75%를 나타내었으며, 수온이 높은 여름철에 제거효율이 높은 경향을 나타내었다.

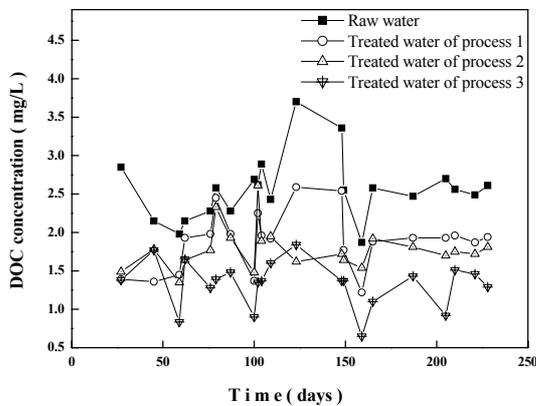


Figure 2. 실험기간 중의 DOC 농도변화

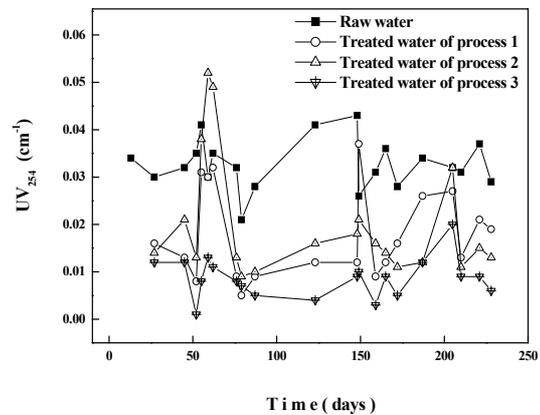


Figure 3. 실험기간 중의 UV₂₅₄ 농도변화

3. 생물활성탄에서 여층(bed depth) 깊이에 따른 유기물질 제거특성

Figure 4는 생물활성탄 반응조의 각각의 여층 깊이에 대한 DOC 제거 경향을 조사한 그림이다. 일반적으로 수질인자들이 한 반응조 내에서 제거되는 위치는 각각 다를 것이며, 실험 결과 수치상으로 판단할 때 DOC는 반응조 상단에서 전체 제거량의 약 48.2%가 제거되는 것으로 나타났다. 이것은 생물활성탄 반응조 상부에 DOC 제거를 유발하는 미생물이 자생한다는 증거이며, 또한 짧은 체류시간(empty bed contact time, EBCT)에서도 DOC 제거가 용이함을 나타낸다. DOC 외에 물리·화학적 처리에 의해 제거가 어려운 난분해성 물질인 총질소(TN)의 제거 경향을 살펴보았다. 총질소는 DOC와는 달리 BAC 반응조의 중·하부에서 약 50% 정도가 제거되는 경향을 보이고 있다. 이것은 BAC 반응조 하단에 질산화를 진행시키는 미생물들의 생물막이 형성되어 있음을 추측할 수 있

으며, BAC 반응조 내에서 긴 EBCT에서 총질소의 제거가 증가함을 예측할 수 있다.

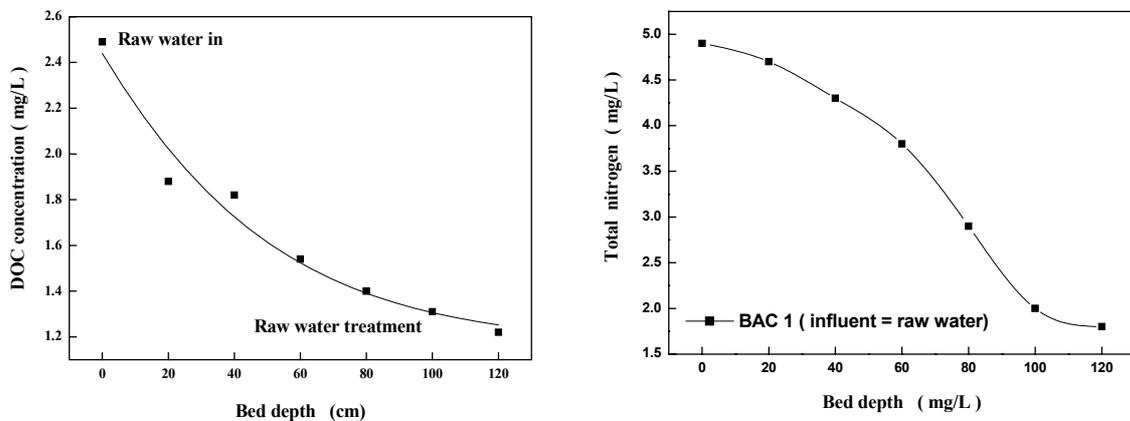


Figure 4. 생물활성탄의 여층 깊이에 따른 DOC 농도 변화
Figure 5. 생물활성탄의 여층 깊이에 따른 총질소 (TN)의 농도 변화

정수처리장의 수질개선을 위하여 본 연구에서는 한강 상류지역의 정수장에서 semi-pilot plant 실험을 통하여 BAC 반응조의 유입수를 다르게 하여 용존유기물질의 저감특성을 조사한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 본 공정의 유기물 제거효율은 원수의 심한 성상의 변동에도 불구하고 비교적 높은 처리효율을 보이는 것으로 판단되며, 우기의 충격부하에도 강한 면모를 보였다. 순응 후 BAC 운전 시작점으로부터 100일을 전후하여 약 30% 정도로 안정된 DOC 제거율을 나타내고 있고, 5-20℃사이의 온도변화에 대하여는 처리효율도 그다지 큰 차이를 나타내지는 않았다. 또한 유입수의 성상변화를 고려한다면 생물활성탄 공정은 초여름의 우기나 겨울철을 저온에 대한 대책만 강구된다면 정수처리 공정에서 용존유기물질 제거에 상당한 효율증가를 발생시킬 것으로 예측된다.

참고문헌

1. Daniel, U., Huck, P. M., Booth, S. D. J and Coffy, B. M., "Biological filtration for BOM and particle removal : a critical review", AWWA, 89, 12 (1997)
2. Lori, A. Cipparone., Alicia, C. Diehi and Gerald, E. Speitel Jr., "Ozonation and BDOC removal : effect on water quality", AWWA, 89, 12, (1997)
3. Kenneth, H. Carlson and Gary, L. Amy., "Ozone and Biofiltration optimization", AWWA, 93, 1 (2001)
4. Taha, F. Marhaba., Doanh, Van and R, Lee. Lippincott., "Changes in NOM Fractionation through Treatment", Ozone science & Engineering, 22, 3 (2000)
5. Kenneth, H. Carlson and Gary, L. Amy., "BOM removal during biofiltration", AWWA, 90, 12 (1998)
6. Summers, R .S., Hong, S. H., Hooper, S. and Solarik, G.:Adsorption of natural organic matter and disinfection by-product precursors. in Proceedings of the 1995 AWWA Annual Conference, Anaheim, California, 1995
7. 황용우, 조봉연, 김형수:자외부흡광도를 이용한 Trihalomethane(THM) 생성능 예측, 대한상하수도학회지, 11(3), 95-104, 1997
8. Servais, P., Billen, G., Ventresque, C. and Bablon, G. P.:Microbial activity in GAC filters at the Choisy-le-Roi treatment plant. J. AWWA, 83(2), 62-68, 1991