

# 대청용수내 고도정수처리 적용방안 연구

## Application Study for Advanced Water Treatment Processes in the Dae Chung Water Treatment Plant

안창진<sup>1)</sup>, 이동주<sup>2)</sup>, 채선하<sup>2)</sup>, 전 항 배<sup>3)</sup>

### 1. 서 론

대청수도 취수원인 대청호는 하천을 막아 생성된 전형적인 인공호소로 주기적인 조류의 과대번식에 의해 담수후 6년 후인 89년부터 이취미 문제가 발생하기 시작하였다. 또한 부영양화 현상의 가속으로 수중의 용존유기물질이 점차 증가되어 염소 소독시 THM과 같은 소독부산물의 발생량이 증가할 가능성이 점차 커지고 있다. 본 연구는 대청댐의 호소수를 원수로 사용하고 있는 대청수도의 이취미와 THM의 효과적인 저감을 위하여 시작하였다. 본 연구는 3개년으로 계획되었으며, 1차년도(1993)에는 문헌조사 및 국내외 현황 파악, 고도정수처리 공정 구성 및 Pilot plant 설치, 및 대청용수 원수 수질조사 및 생물막공정을 이용한 기초실험을 수행하였다. 2차년도(1994)에는 단위공정별 오염물질 제거에 대한 기본 Mechanism을 조사하였고, 생물막 Pilot plant 설치하였으며, 단위공정별 효율평가 및 운전조건등을 결정하였다. 3차년도(1995)에는 오존접촉공정을 추가로 설치하였으며, 각 단위공정을 연계 운영하여 종합적인 오염물질의 제거효율을 관찰하였다.

3차년도('95) 연구에서는 기존의 정수처리공정에서 용존유기물질 및 탁도물질을 효과적으로 제거할 수 있는 개선방안을 연구하고, 염소 및 분말활성탄의 효과적인 사용으로 THMs 및 이취미 물질을 줄이는 방안에 대하여 검토하였다. 재래식 정수공정에 연결하여 오존 pilot plant를 설치하였고, 그 뒤에 입상활성탄 공정을 연결하여 각 공정별로 이취미 및 THMs(DOC) 제거효율에 대하여 관찰하였으며, 최적조건에서의 설계인자를 도출하였다. 3차년도 보고서에서는 현재까지 수행되었던 연구결과와 당해년도에 수행된 결과를 종합적으로 분석하여 최종결론을 도출하였으며, 최적공정의 선정에 위하여 대상오염물질과 조합공정별로 처리효율을 비교·분석한 후 경제성분석을 수행하였다. 특히, 기존 정수처리공정의 개선을 통한 수질개선 방법에 대한 연구도 심도있게 수행하였고, 추가로 접목시킨 고도정수공정인 오존 및 활성탄공정에서 각 오염물질들이 제거되는 특성을 관찰하였으며, 양질의 수돗물을 생산하기 위한 최적의 조건과 공정조합을 결정하였다.

---

1) 한국수자원공사 수자원연구소 책임연구원, 2) 연구원

3) 충북대학교 환경공학과 교수

본 연구의 목적은 대청수도의 조류에 의한 이취미물질을 효율적으로 제거할 수 있는 공정을 개발하고, THMs 발생을 줄이거나 제거할 수 있는 방법을 연구하여 현시설의 개선 및 최적운영 방안을 수립하는 것이다.

## 2. 실험방법 및 재료

본 실험은 대청호를 취수원으로 하는 대청수도 청주정수장을 대상으로 수행되었으며, 매년 주기적으로 발생하는 수돗물의 이취미 물질을 제거하기 위하여 여러 가지 lab 실험과 pilot 실험을 병행하였다. 대청댐은 지난 1980년에 준공된 이후 각종 용수를 공급해 왔으나, 국내의 여타 다목적 댐과 마찬가지로 1986년부터 부영양화가 진행되면서 조류에 의한 이취미가 심각한 수질문제로 부각되고 있다. 또한 부영양화의 진행에 따라 원수내 용존유기물질의 증가로 THM과 같은 소독부산물 생성량도 점차 증가하는 추세이다. Fig. 1은 대청수도 취수원의 '93년도에서 '95년도에 걸친 월별 평균 COD, 수온, chl-a 및 탁도를 나타낸 것이다. COD는 3년에 걸쳐 약간씩 상승하는 경향을 보였으며, 탁도도 점차 증가하는 추세였다. 조류의 농도를 간접적으로 나타내 주는 chl-a는 봄과 가을철에 높아지는 경향을 보였는데, 수화(水華)현상과 같이 조류가 번성하는 시기의 온도는 20-25°C 정도였다.

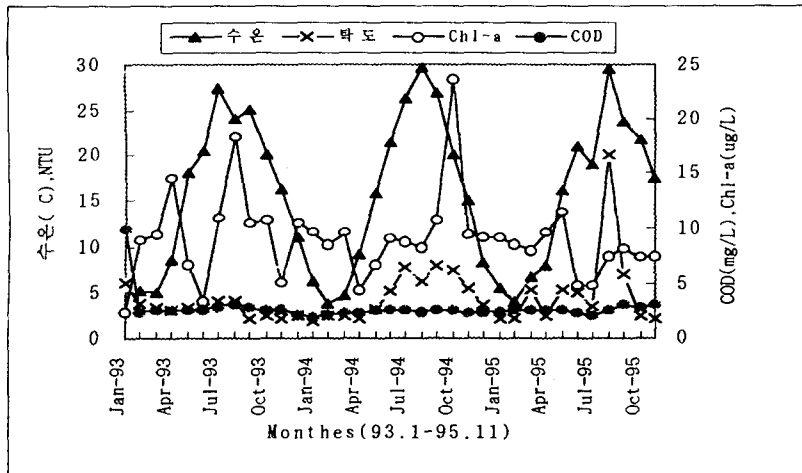


Fig.1 대청수도 취수원 원수의 월별 수질 변화

대청수도에 유입되는 원수의 이취미 원인물질은 흙냄새를 발생시키는 것으로 알려진 Geosmin이었으며, 3차년도('95)의 경우 이취미가 발생하기 시작한 초기(8월)에는 5ng/l 어었다가 점차 그 강도가 증가하여 9월 중순에는 23ng/l 이었고, 이취미가 가장 심했던 10월 중순에는 60ng/l 정도가 검출되었다.

본 연구에서 사용된 재래식 정수처리 Pilot plant는 혼화, 응집, 침전 및 여과로 이루어져 있

으며, 이산화염소 및 입상활성탄 Plant는 1차년도('93)에 설치되었고, 생물막 Plant는 1차년도에 Bench-scale실험을 거쳐 본 2차년도에 Pilot plant를 설치하였으며, 3차년도에 오존접촉조를 추가로 설치하였다. Fig.2는 Pilot plant의 전체 시스템 구성도이다.

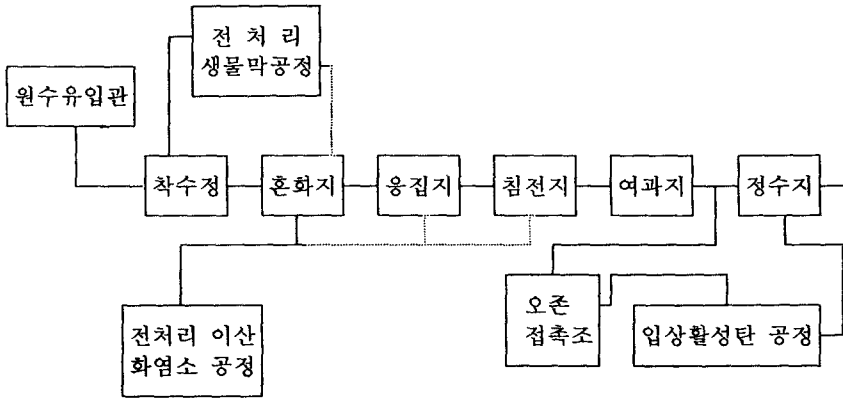


Fig.2 대청용수내 Pilot plant 전체 시스템 구성도

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 재래식 정수처리공정에서의 이취미 및 DOC 저감방안

재래식 정수처리공정은 일반적으로 혼화·응집, 침전 및 여과공정으로 구성된 기본적인 공정을 말하며, 응집제외에 염소에 의한 소독과 분말활성탄에 의한 이취미 및 용존유기물질과 같은 오염물질을 추가로 제거할 수 있는 전통적으로 사용되어 온 공정을 포함하여 정의되고 있다. 본 연구에서는 고도 정수처리 공정을 도입하기에 앞서 먼저 재래식 정수처리공정의 효율향상을 통하여 이취미 및 DOC 저감방안을 강구하였다. 본 연구에서는 교반강도 및 체류시간의 조합에 따라 기존의 급속혼화방식( $G = 300\text{sec}^{-1}$ ,  $t = 60\text{sec}$ ), 고속혼화방식( $G = 1000\text{sec}^{-1}$ ,  $t = 1\text{sec}$ ), 2단혼화방식(1단계 :  $G = 1,000\text{sec}^{-1}$ ,  $t = 1\text{sec}$  ; 2단계 :  $G = 300\text{sec}^{-1}$ ,  $t = 30\text{sec}$ )을 적용하여 각 혼화방식에 따른 탁도 및 용존유기물질 제거효율을 비교하였다. Fig.2는 Jar Test에 의 Alum 주입률에 따른 혼화방식별 DOC 제거효율을 나타낸 것으로 Alum 주입률이 1 mg/L 이하에서 DOC 제거율이 2단혼화방식의 경우 약 60%까지 나타났으며, 또한 탁도의 제거효율도 2단혼화방식이 다른 혼화방식에 비하여 안정적으로 제거효율이 높게 나타났다. Fig.3은 Pilot plant에서 기존급속혼화방식과 2단혼화방식을 적용하여 DOC 및 탁도제거효율을 관찰한 결과, 탁도는 2단혼화방식의 경우 기존의 급속혼화방식에 비해 응집제 주입률을 50%까지 감소시켜도 같은 제거효율을 보였다. DOC의 경우에도 제거효율에 있어서는 기존의 급속혼화방식에 비해 미소하나마 좋은 것으로 나타났다.

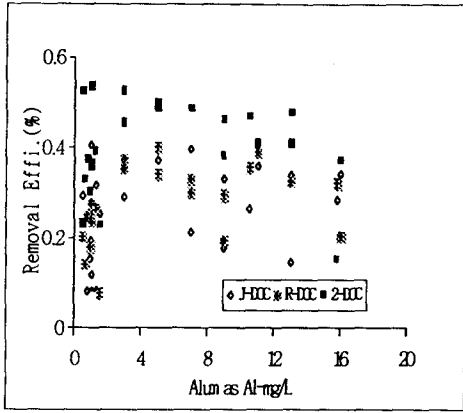


Fig.2 Jar Test에 의한 혼화방식별 DOC 제거

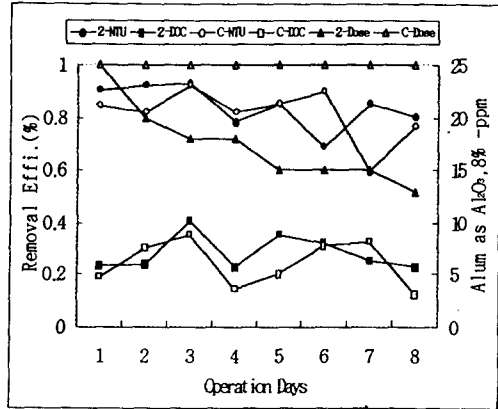


Fig.3 Pilot plant에서 혼화방식별 탁도/DOC 제거

### 3.2 오존 및 입상활성탄 공정에서의 이취미 및 DOC 제거

본 연구에서는 일정기간 동안 이취미가 발생하는 대청수도내 이취미 물질의 제거를 위하여 입상활성탄 단일공정과 오존과의 조합공정을 이용한 실험을 수행하였다. 본 연구에서는 활성탄 Column은 4지를 운전하였으며, Column 1(C1)과 Column 3(C3)은 오존처리 공정과의 조합공정으로 운전하였고, Column 2(C2)와 Column 4(C4)는 활성탄만의 단일공정으로 운전되었다. 이때 오존 주입률은 1mg-O<sub>3</sub>/mg-DOC 이었으며, 각 Column 모두 EBCT 15분으로 운전하였다. C1은 2차년도('94)에 운전하였던 활성탄(PICA, 목재계)을 재생없이 사용하였으며, C2는 3차년도('95) 6월에 활성탄(삼천리, 야자계)을 충전하였다. C3와 C4는 '95년 3월에 활성탄(F-400, 석탄계)로 충전하였다. 먼저 기존 재래공정에서의 이취미 제거율을 살펴본 결과 평균 20 ~ 40%정도가 제거되었으며, 오존을 1mg-O<sub>3</sub>/mg-DOC로 주입할 경우 50 ~ 70%정도 제거되어, 원수의 냄새강도가 100TON이하일 때는 오존처리가 효과적인 것으로 나타났다.

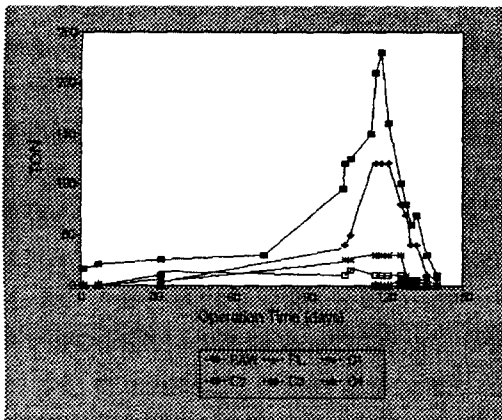


Fig.4 오존/입상활성탄 공정에서 이취미 제거

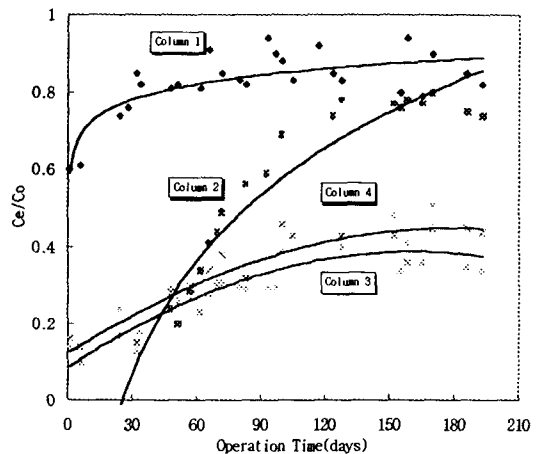


Fig.5 오존/입상활성탄 공정에서 DOC 제거

Fig.4는 각 Case별로 이취미 제거율을 나타낸 것이다. C1은 원수의 TON 강도의 증가와 함께 유출수의 TON 강도도 서서히 증가하여 이미 활성탄내 파파가 일어나고 있음을 알 수 있고, C2는 석탄계인 C3, C4에 비해 효율이 낮게 나타나 대세공을 가진 야자계는 이취미 흡착에는 큰 효과가 없는 것으로 나타났다. C3와 C4는 오존 처리 유무에 관계없이 양호한 처리효율을 나타냈다. 위의 결과로부터 대청수도의 이취미는 오존처리 없이도 석탄계의 비세공을 갖는 활성탄 Column으로 제거가 가능한 것으로 나타났다. Fig.5는 DOC가 배경물질로서 이취미 물질의 활성탄 흡착에 미친 영향을 나타내고 있다. DOC제거가 거의 파파에 이른 C1은 이취미에 있어서도 파파 현상이 나타났고, C2에 있어서는 이취미 발생이 최고에 이른 기간동안의 DOC 파파곡선과 비교했을 때 DOC제거율이 20%정도의 완만한 곡선을 나타냈으며 이취미의 제거에 있어서도 조기 파파 현상을 보여주었다. C3와 C4는 이취미 발생 기간동안 DOC제거율이 60%에 이르러 활성탄의 상당량 부분이 흡착능을 가지고 있어 이취미의 제거에 있어서도 양호한 처리율을 보여주었다. 이로써 배경물질의 존재는 활성탄 흡착에 의한 이취미 제거시 경쟁흡착으로 인한 방해물질로 작용하나 이취미 물질은 DOC에 비해 매우 낮은 농도이므로 방해작용 보다는 개별흡착이 지배적인 것으로 평가할 수 있다.

### 3.3 염소주입 방법 변경 및 탈기공정에서의 THM제거

염소 주입위치 변경 실험에서는 염소의 주입위치를 변경하였을 때 나타나는 염소주입량 변화와 THM발생특성을 관찰하였다. 전염소는 혼화·응집전에 염소가 주입되어 원수와 반응하게 되며, 중 1염소의 경우 혼화지와 응집지 사이에 염소가 주입되게 된다. 중 2염소는 침전지와 여과지 사이에 염소를 주입하고 침전이 완료된 후 염소를 주입하여 20분 정도 접촉시켜서 그 특성을 살펴 보았다. 그리고 후염소만의 경우도 다른 전염소나 중염소와의 비교를 통해 분석해 보았다. Fig.6에서와 같이 염소의 차등 주입위치별 THM발생특성을 보면, 전염소의 경우는 중염소나 후염소만의 경우보다 THM발생량이 상당히 많은 것으로 나타났다. 중 1염소와 중 2염소는 THM발생량이 거의 같아 floc내에 흡착된 용존유기물질은 유리잔류염소와 접촉하더라도 더이상 THM을 발생시키지 않는다는 사실을 보여주고 있다. 전염소 주입시와 비교할 때 중 1염소와 중 2염소는 약 25%정도 THM 발생량이 줄었고, 후염소만의 경우는 30%정도 THM 발생량이 감소하였다. 이 사실로 염소 주입위치를 일부 변경함으로써 THM 발생량을 상당히 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. Fig.9는 탈기전 전염소를 접촉시킨 시간별로 THM저감 특성을 실험한 것이다. 이때 Air/Water비는 발생된 THM을 거의 100% 제거 가능한 것으로 나타난 40으로 하였으며, Cl<sub>2</sub>/DOC 비가 3이 되도록 전염소를 주입하여 실험하였다. 전염소 주입후 4시간 접촉시킨 후 탈기로서 THM을 제거하면 탈기과정 없이 후염소만의 경우보다 40%이상 THM발생량이 저감되었고, 8시간 접촉시켰을 때에는 60%가까이 THM발생량이 저감되었다. 이러한 결과로 부터 탈기공정 도입시 전염소 주입후 탈기에 의한 THM제거 까지의 접촉시간이 증가할수록 THM 저감율이 증가함을 볼 수 있다.

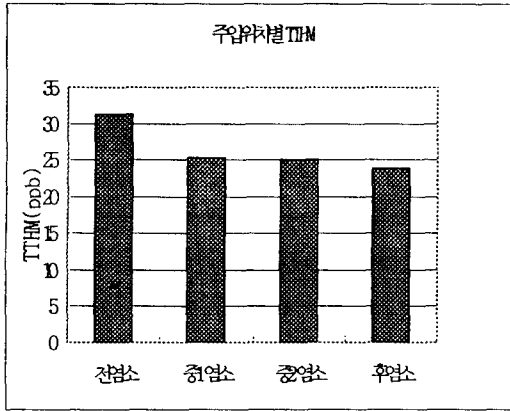


Fig.6 염소 주입위치별 THM 발생량

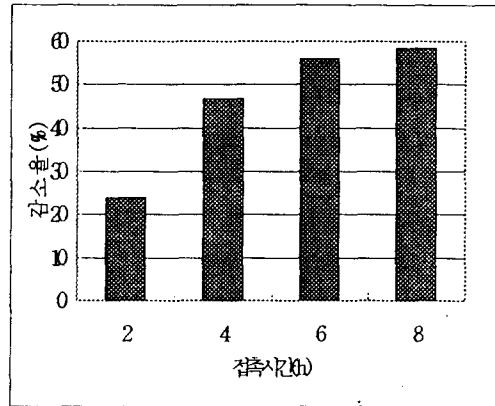


Fig.7 탈기에 의한 접촉시간별 THM-저감 특성

### 3.4 이취미 및 THM제거를 위한 최적공정 선정 및 경제성 평가

대청수도의 취수원인 대청호의 이취미 발생특성을 보면 조류가 번성하는 시기인 봄과 가을철에 이취미가 발생하며 그 기간은 약 2~3개월 정도이다. 3차년도('95)의 경우 이취미가 최대 발생한 10월 중순의 경우 Geosmin이 60ng/ℓ 검출되었으며, TON으로는 230정도의 수치를 기록했다. 따라서 이취미 제거를 위한 최적 공정 선정시에는 '95년도에 나타난 이취미 강도를 제거할 수 있을 뿐만 아니라, 어느 정도의 여유를 두어서 선정하여야 한다. 본 연구결과 대청수도의 이취미 제거를 위한 최적의 공정은 오존과 활성탄을 조합한 방식이었으며, 활성탄 단독으로도 만족할 만한 결과가 예상된다. THMs 제거를 위한 최적공정은 응집공정을 최적화하고, 응집후 염소를 주입하며, 탈기공정을 도입하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

## 4. 결 론

1. 이취미가 비교적 낮은 농도로 유입시에는 오존만으로 50 ~ 70%까지 이취미가 제거되었고, 입상활성탄 병행하여 사용할 경우 처리수가 모두 10TON이하로 나타나 이취미 제거에 효과적인 것으로 나타났다.
2. 응집공정을 최적화하여 DOC 및 탁도제거효율을 향상시킬 수 있었다.
3. THM발생량을 저감시키기 위한 염소주입방법 변경 공정에서는 간단히 주입위치 변경만으로 20 ~ 30%정도 저감되었고, 전염소를 주입하여 THM을 형성시킨 후 Air stripping에 의한 THM탈기시에는 후염소만의 경우보다 60%까지 THM발생량이 저감될 수 있었다.

## 참고문헌

1. 한국수자원공사, "다목적댐 저수지 수질조사 보고서", 1991-1994.
2. 한국수자원공사, "정수처리시 THM생성방지를 위한 조사 보고서", 한국수자원공사 수도권영치 자체보고서, 1990.11..
3. Bryant, E.A. and Fulton, G.P. and Budd, G.C., "Disinfection Alternatives for Safe Drinking Water", Van Nostrand Reinhold, New York, 1992.
4. Bull, R.J. and Kopfler, F.C., "Health Effects of Disinfectants and Disinfection By-product", AWWA Research Foundation, USA, 1991.
5. Carlson, M., "Disinfection By-products Precursor Removal", AWWA Annual Conference, pp.151-191, 1991.
6. Owen, D.M. and Amy, G.L. and Chowdhury, Z.K., "Characterization of Natural Organic Matter and Its Relationship to Treatability", AWWA Research Foundation, USA, 1993.
7. Symons, J.M. et al., "Treatment Techniques for Controlling THMs in Drinking Water", EPA-600/2-81-156, MERL, USEPA, Cincinnati, Ohio, 1981.
8. Trussell, R.R. and Umphress, R.D., "The Fomation of THM Levels in an Zowa River Water Supply", J. AWWA, pp.72-583, 1980.
9. Johnson, J.D. and Jensen, J.N., "THM and TOX Formation : Routes, Rates, and Precursors", J. AWWA, pp. 156-161, 1986.
10. Knocke, W.R. et al., "Effects of Low Temperature on the Removal of Trihalomethane Precursors by Coagulation", J. AWWA, pp. 189-195, 1986.