

## 이단이층 복합여과시스템의 소규모 파일럿 플랜트 적용성 평가

우달식<sup>1</sup>, 송시범<sup>1</sup>, 황병기<sup>2\*</sup>  
<sup>1</sup>한국계면공학연구소, <sup>2</sup>상명대학교 건설시스템공학과

### Applicability Evaluation of Two-stages and Dual Media Filtration System by the Small-scale Pilot Plant

Dal-Sik Woo<sup>1</sup>, Si-Byum Song<sup>1</sup> and Byung-Gi Hwang<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Korea Interfacial Science and Engineering Institute

<sup>2</sup>Dept. of Civil Engineering, Sangmyung University

**요약** 본 연구에서는 겨울철 수온강하, 여름철 우천시 표류수 중의 고탁도 물질 및 붐, 가을철의 조류성장 시기 등을 고려하여 기존의 급속모래여과시스템을 이단 이층 복합여과시스템으로 개량하는 기술을 개발하는 것을 목표로 하였다. 본 기술은 기존 여과지의 개량 또는 신설 여과지 설계시 또 다른 부지의 확장 없이 기존 모래여과지를 대체하는 기술로서 하부집수장치 상부에 모래 + 활성탄 층을 두고 활성탄 층 상부에 일정한 간격의 역세 팽창층을 두고 전 처리의 개념으로 중간집수장치 위에 모래층을 두는 이단 이층 복합여과시스템을 말한다.

본 연구에서는 이단이층 복합여과시스템을 경기도 S 정수장에 소규모 파일럿 플랜트를 설치하였으며, 탁도는 1NTU 이하로 안정하게 유지되었고, TOC, THMFP, HAAFP는 약 90%정도 제거되어 S정수장에 비해 약 2배 정도 높았으며, 이는 본 시스템의 하단에 충전된 활성탄층에서의 흡착 및 생물분해 효과에 기인된 것으로 판단된다.

**Abstract** This study aimed at developing the two stage and dual filtration system. It has a sand + activated carbon layer above the underdrain system and a sand layer above the middledrain system for pretreatment. When retrofitting an old filter bed or designing a new one, this technology can substitute the existing sand filter bed without requiring a new site. In order to extend the filtering duration, the upper layer of the filter bed consists of the rapid sand filtration with large particles which pre-treats and removes coarse particles and turbidity matters. The middle layer has biological activated carbon(BAC) and granular activated carbon(GAC) to eliminate dissolved organic matters, disinfection by-products precursors etc. The lower layer consists of the sand filtration for the post filtering mode.

In this study, a pilot plant of two stage and dual filtration system was operated for 4 months in the S water treatment plant in Kyounggi-Do. The stability of turbidity was maintained below 1NTU. The TOC, THMFP and HAAFP were removed about 90% by two stage and dual filtration system, which is almost 2 times higher than S WTP. From analysis result of HPC along the depth of activated carbon + sand layer at 2nd stage, microorganism was mostly not detected, however, increment of HPC was shown as it becomes deeper. It indicates that growth of microorganism is occurred at activated carbon layer.

**Key Words** : Two-stages and dual media filtration system, GAC, TOC, Backwashing

#### 1. 서론

국내에서는 기존 정수처리방법으로는 제거가 곤란한

미량오염물질을 제어할 수 있는 고도정수처리공정으로서 대부분 모래여과를 거친 후 입상활성탄 공정 또는 오존 + 생물활성탄 여과공정을 채택하여 왔다. 한국수자원공

본 논문은 환경부 “차세대 핵심환경기술사업”의 연구비 지원에 의해 수행되었음.

\*교신저자 : 황병기(bh4a@smu.ac.kr)

접수일 08년 11월 17일

수정일 09년 04월 15일

게재확정일 09년 04월 22일

사는 수도물의 안전성 확보를 위해 총 3,352억원의 사업비를 2004년부터 2015년까지 연차적으로 투입하여 창원반송 등 9개 정수장에 입상활성탄 공정 등을 설치하는 계획을 수립하여 시행하고 있다. 한편 최근에는 막(membrane)여과 공정에 대한 실험적 연구가 활발히 진행되고 있는데, 서울시는 2003년 12월부터 구의정수장내에 프랑스 드그레몽사를 비롯하여 5개 업체가 참여하는 막여과 실증플랜트 운전을 시작하였으며, 환경부 수처리선진화사업단의 사업과 연계하여 막대한 연구비가 투자되어 연구가 진행되고 있다. 그러나 막여과 공정은 원수의 수질변화에도 효율적으로 대응할 수 있고 소요부지면적을 적게 할 수 있으며 처리시설의 소형화 및 자동화 등과 같은 여러 가지 장점을 갖고 있으나, 목표수질을 달성하기 위한 장기적 안목에서 중대형 정수시설에 이들 공정을 적용하기에는 기술적, 재정적 측면과 더불어 안정성 및 유지관리의 난이도 등이 심도 있게 검토되어야만 한다[1-4].

상수원수의 수질이 기존 표준정수처리로 먹는 물의 목표수질을 달성할 수 있는 수준으로 개선되지 않는 한, 당분간 시설 및 운전유지관리상의 비용과 어려움을 감수해야 할 소위 고도정수처리공정이라 불리우는 특수정수처리공정의 추가도입은 불가피한 실정이다. 따라서 우선적으로 소위 외래형 고도정수처리공정들에 버금가는 기존 정수처리시설의 개선을 통하여 탁도 유발물질을 비롯한 맛과 냄새는 물론 미량 유해 용존물질까지도 제거할 수 있는 기존 정수장의 성능 개선 기술 즉, 주처리 공정인 여과지 성능 향상 기술에 초점을 맞춘 연구가 필요할 것으로 판단된다. 국내의 수질특성은 봄, 가을철의 조류의 대량 발생, 여름철의 집중 강우로 인한 고탁도 유입, 겨울철의 저수온 시 응집효율 저하 등은 기존 급속여과지에 큰 부하를 주게 되어 여과효율의 급격한 저하를 불러일으킬 수 있다.

따라서 본 연구에서는 정수처리과정 중 급속여과지를 상단과 하단으로 분리하여 상단에서는 전처리용의 조립 모래층에서 입자성 탁질물질을 제거하고, 하단에서는 본처리용의 활성탄층에서 미량의 유해유기물질 등을 제거하고, 활성탄층 하단의 마감처리용 세립모래층에서 미세분말활성탄 및 병원성 미생물 등을 제거할 수 있는 소규모 이단이층 복합여과시스템의 파일럿 플랜트를 경기도 S 정수장에 설치하여 적용성을 평가하였다.

## 2. 실험방법

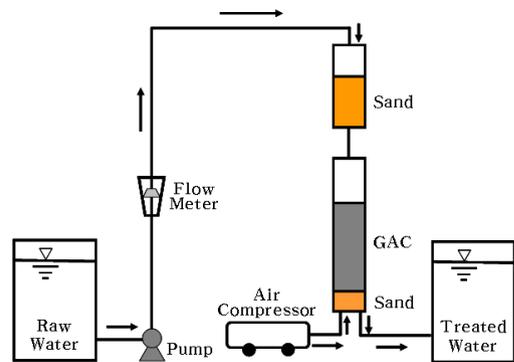
### 2.1 실험장치 및 방법

본 연구에서는 팔당원수를 수원으로 하는 경기도 S 정수장에 소규모 이단이층 복합여과시스템 파일럿 플랜트를 설치하여 약 4개월간 운전하였다. 실험실 규모의 이전 연구[5]를 통해 얻은 결과를 바탕으로 상단에는 유효경 0.88mm, 균등계수 1.5인 급속여과사를 50cm 깊이로 포설하였고, 하단에는 Calgon사의 F-400 활성탄을 1.25m, 유효경 0.64mm, 균등계수 1.47인 급속여과사를 40cm 깊이로 포설하였으며, 각 층의 운전조건은 표 1에 제시하였다.

【표 1】 파일럿 플랜트의 운전 인자

Contents	value
EBCT(Empty Bed Contact Time)	15 min
Space velocity	4 hr <sup>-1</sup>
Linear velocity	120 m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> ·day
1st stage sand depths	0.5 m
2nd stage GAC depths	1.25 m
2nd stage sand depths	0.4 m

파일럿 플랜트의 컬럼은 상단과 하단으로 분리하였고, 컬럼의 재질은 아크릴로 하였으며, 직경은 10cm, 높이는 상단이 1.35m, 하단이 3.5m로 전체 높이가 4.85m이다. 상, 하단 모두 웨어와 트러프를 설치하여 원수 공급의 중단으로 인한 여과지내 물빠짐이나 수위상승으로 인한 월류수의 배출에 문제가 없도록 제작하였다. 또한 상단과 하단의 역세척 시 역세척수와 공기의 공급을 위해 컴프레서와 역세척펌프를 설치하였다. air와 역세척수의 양을 조절하기 위해서 상, 하단에 유량계를 각각 설치하여 역세척 시 공기량과 역세척수를 조절할 수 있도록 하였다. 본 실험에 사용된 소규모 파일럿 플랜트의 개략도는 그림 1에 나타내었다.



【그림 1】 파일럿 플랜트의 개략도.

## 2.2 분석방법

본 연구는 파일럿 플랜트에서의 여과성능 평가를 위해 탁도, 입자개수, TOC(Total Organic Carbon), UV254, 트리할로메탄 전구물질(Trihalomethane Formation Potential; THMFP), 할로아세트산 전구물질(Haloacetic Acid Formation Potential; HAAFP)의 제거효율을 지표로 하여 실험하였다.

탁도는 Hach 2100A를, UV254는 Agilent 8453 spectrometer를, TOC는 산화방식을 이용한 SEIVERS 820 TOC meter를 이용하여 각각 분석하였다. 입자개수는 PAMAS 3116 FM (PAMAS)를 사용하여 측정하였다. 입자개수 측정에 사용된 시료의 양은 25 mL로 매 시료마다 5번의 측정을 통해 평균값을 1mL로 환산하여 기록하였고, 측정범위의 구간을 1~2, 2~3, 3~4, 4~5, 5~6, 6~7, 7~8, 8~9, 9~10, 10~12, 12~15, 15~20, 20~50, 50~70, 70~100, 100 μm 이상의 16개 범위로 나누어 측정하였으며, 분석 시에는 전입자개수, 3~7μm 범위의 입자개수, 5~15μm 범위의 입자개수로 분류하였다. THMFP 분석은 USEPA 502.2법, “Purgeable Organic Compounds in Water by Capillary Column Gas Chromatography”에 준하여 실시하였고, HAAFP 분석은 USEPA 552.2 Micro-extraction method 중 acidic methanol을 이용한 Methylation 방법에 의해 분석하였다. 본 시스템의 하단에 충전된 입상활성탄층에서의 미생물 성장 여부를 확인하기 위해 일반세균수(Heterotrophic Plate Count, HPC)를 측정하였다. 일반세균수(HPC)는 도말평판법(Spreading Plate Method)을 사용하였으며, 분석에 사용한 배지는 Tryptone glucose extract agar (Difco)를 사용하였고 37℃에서 2일 배양 후 콜로니를 계수하였다. 미생물 실험에 사용한 모든 조차와 배지는 121℃에서 15분간 멸균한 제품을 사용하였다.

또한 이단이층 여과시스템에 가장 적합한 역세척 조건을 찾기 위해 공기세척 및 물세척에 대한 최적 역세척 조건을 찾고자 하였다.

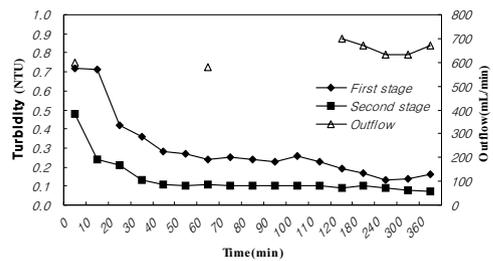
## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 파일럿 플랜트 초기 운전 평가

#### 3.1.1 여과지 탁도 및 유량 변화

본 연구에서 이용된 파일럿 플랜트의 설치 시 상단과 하단에 각각 여재를 채우고 여재내의 축적된 이물질들을 제거하기 위해서 2일 동안 S 정수장의 여과수로 역세척을 실시하여 여재를 세정하였다. 세정 후 지내에 남아있

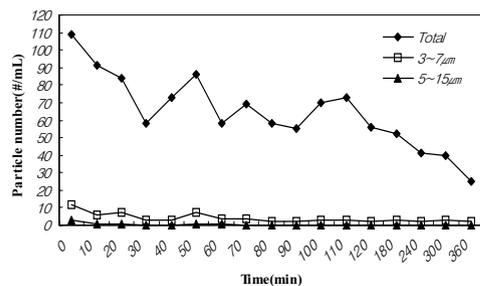
는 세정수를 완전히 제거한 후 침전지 유출수를 원수로 주입하였다. 파일럿 플랜트에 주입된 침전지 유출수의 탁도는 평균 0.5NTU이었고, 유입 유량은 650mL/min (120m/day)이었다. 파일럿 플랜트 운전시작 직후의 상단과 하단의 탁도 값은 0.72, 0.48NTU를 나타내었으나 시간 경과에 따라 점차 감소하였다. 상단의 경우 1시간 후부터 안정적인 값을 유지하였고 하단의 경우 40분 이후부터 안정적인 값을 나타내었다. 또한 유량도 운전 초기부터 일정한 유출량을 보였다. 본 파일럿 플랜트의 초기 운전 시 상, 하단의 탁도와 유량의 변화를 그림 2에 나타내었다.



[그림 2] 파일럿 플랜트 운전초기 탁도와 유량의 변화

#### 3.1.2 유출수의 입자개수 변화

그림 3은 운전시작 직후 6시간 동안 측정된 전 입자개수, 3~7μm의 입자개수, 5~15μm의 입자개수 변화를 나타낸 것이다. 파일럿 플랜트가 안정화되기 까지 입자개수의 변화가 심할 것으로 예상했지만 운전 초기 80분 이후부터는 하단의 입자개수 변화가 안정적으로 운전되는 것을 볼 수 있었다. 전 입자개수는 110~24counts/mL이었으며, 3~7μm 범위의 입자개수는 초기 12counts/mL에서 80분 이후부터는 4counts/mL 미만으로 측정되었다. 5~15μm 범위의 입자개수는 초기 2~3counts/mL이었으며, 시간이 경과하면서 검출되지 않았다.

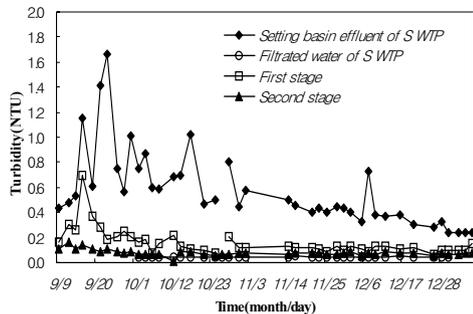


[그림 3] 운전 초기 파일럿 플랜트에서의 입자개수 변화

### 3.2. 파일럿 플랜트 안정화 이후 운전 평가

#### 3.2.1 탁도 변화

파일럿 플랜트를 S 정수장에 설치하고 안정화 이후 약 4개월의 운전 평가 기간 중 탁도 변화는 그림 4와 같다. S 정수장의 침전지 유출수 탁도는 매우 심하게 변화하는 것을 볼 수 있었으며, 이러한 이유로 인해 초기 10일간은 상단의 조립사층에서도 안정적인 탁도 값을 나타내지 않고 침전지 유출수의 변화 경향과 비슷한 경향을 보였으나, 약 10일 이후부터는 침전지 유출수의 변화에 관계없이 안정적인 탁도 값을 나타내었다. 반면 하단의 최종 여과수는 침전지 유출수나 상단 여과수의 변화에 관계없이 4개월의 운전기간동안 0.1NTU 이하의 매우 안정적인 탁도를 유지하였다. S 정수장의 여과지는 안트라사이트와 모래로 구성된 이중여재로 되어있다. 비록 여름철 고탁도 및 조류로 인한 여과지 폐색이 발생 했을 때의 여과효율은 평가할 수 없었지만, 본 시스템의 장점인 전처리 개념의 상단에서의 조립모래층에서 비록 역세척 주기가 다소 빨리될 수 있지만 최종적으로는 고탁도 물질 및 조류의 사전 제거를 통해 부하를 줄일 수 있으므로 안정적인 탁도 제거가 이루어질 것으로 판단된다.

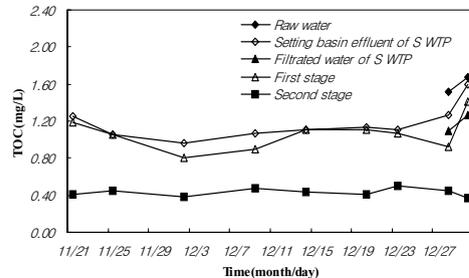


[그림 4] 파일럿 플랜트에서의 탁도 변화

#### 3.2.2 TOC 변화

파일럿 플랜트의 운전기간동안의 TOC 변화를 그림 5에 나타내었다. S 정수장 침전지 유출수의 TOC는 원수 대비 약 26%가 혼화, 응집, 침전의 과정에서 제거되었다. S 정수장 여과지의 유출수의 경우 침전지 유출수의 TOC 값과 거의 비슷한 값을 나타냈고 제거율도 침전지 유출수와 같이 원수에 대해 26% 제거율을 보였다. 이는 침전지 유출수가 정수장 여과지를 거치면서 TOC 제거가 거의 일어나지 않았다는 것을 의미한다. 이러한 경우 여과지 후단의 염소 소독으로 인해 염소소독부산물에 다량 발생할 가능성이 있어 고품질의 수돗물 공급에 차질을 가져올 수 있게 된다. 본 시스템의 상단 조립여과사층에

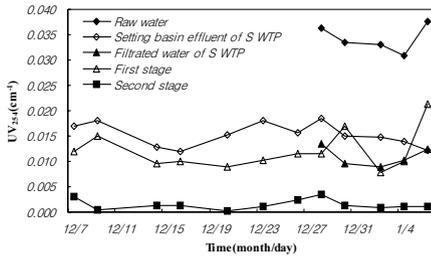
서도 S 정수장 여과지와 마찬가지로 유입되는 침전지 유출수의 TOC가 거의 제거되지 않고 그대로 활성탄+세립사층을 거친 최종 유출수의 TOC 분석 결과, 유입 침전지의 유출수 대비 약 80% 정도의 TOC가 활성탄층에서 제거되었다는 것을 알 수 있었다. 침전지의 유출수 TOC의 변화에도 불구하고 본 시스템의 최종 유출수는 변함없이 안정적인 값을 유지하였다. Le Chevallier[6]은 TOC 제거를 위해 안트라사이트/모래, GAC/모래, 심층 GAC 여과를 비교 연구한 결과, GAC(Granular Activated Carbon) 여재가 보다 많은 양의 미생물을 부착시킬 수 있으며, 결과적으로 보다 많은 양의 TOC 제거를 가능하게 하였고 보고한 바 있는데, 본 연구에서도 이와 유사한 결과를 나타내었다. 여과지에서 TOC를 줄인다는 것은 곧 염소소독부산물의 발생을 최소화시킨다는 것을 의미하고, 결국 염소소독부산물의 감소는 수돗물의 안정성을 높인다는 의미이기 때문에 본 이단이층 복합여과시스템을 기존 정수장에 설치할 경우 효율성측면에서 다른 어떤 여과시스템보다 우수하다는 것을 반증하는 것이다.



[그림 5] 파일럿 플랜트에서의 TOC 변화.

#### 3.2.3 UV254 변화

난분해성 유기물과 부식질 동향 파악에서 사용되는 UV254에 대한 변화를 그림 6에 나타내었다. 앞선 TOC 분석 결과와 마찬가지로 침전지 유출수와 S 정수장 여과지 유출수, 본 시스템의 상단에서의 경우 UV254는 유사한 경향을 보인 반면, 활성탄+세립사층을 통과한 여과수의 UV254 값은 거의 0에 가까웠다. 원수 대비 UV254 감소율을 살펴보면 침전지가 55%, 본 시스템의 상단과 S 정수장 여과지 유출수가 각각 64, 68% 그리고 본 시스템의 하단의 경우 98% 이상의 감소율을 보였다. 이러한 결과로부터 하단의 활성탄+세립층이 여과지 내로 난분해성 유기물 또는 부식질이 유입된다고 해도 충분히 제거될 수 있을 것으로 판단된다.

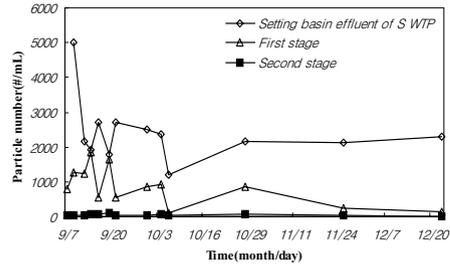


[그림 6] 파일럿 플랜트에서의 UV254 변화

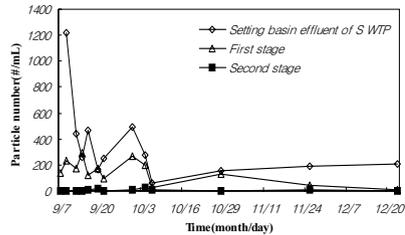
### 3.2.4 입자개수 변화

여과지에서 입자개수의 측정은 병원성 미생물인 *Cryptosporidium*의 감시를 위해 기존 탁도 측정법으로는 한계가 있어 크기별 입자 분포를 나타낼 수 있는 입자계수기의 적용이 필요하게 되었다[7,8].

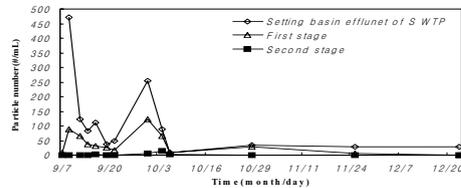
본 연구에서는 S 정수장의 침전지 유출수와 본 시스템의 상단 및 하단 여과수의 시료를 주기적으로 채취하여 입자개수 변화를 전입자개수, 3~7 $\mu\text{m}$  범위의 입자개수, 5~15 $\mu\text{m}$  범위의 입자개수로 분류하여 그 변화 정도를 그림 7에 나타내었다. 본 시스템에서 병원성 원생동물인 *Cryptosporidium*과 *Giardia*가 얼마나 제거가 되는지를 살펴보기 위해서 3~7 $\mu\text{m}$  및 5~15 $\mu\text{m}$  범위의 입자개수(AWWA, 2000)로 분류하였다. Fig. 7에서 보듯이 침전지 유출수의 입자개수 변화폭이 심하다고 해도 본 시스템의 상단에서 완충작용을 해줌으로써 하단 여과수의 입자개수는 안정적으로 낮은 값을 나타내었다. 침전지 유출수의 입자개수는 평균적으로 전입자개수가 2,288 counts/mL, 3~7 $\mu\text{m}$  범위의 입자개수가 208 counts/mL, 5~15 $\mu\text{m}$  범위의 입자개수가 30 counts/mL을 나타내었는데, 본 시스템의 상단을 거치면서 전입자개수가 152 counts/mL, 3~7 $\mu\text{m}$  범위의 입자개수가 7 counts/mL, 5~15 $\mu\text{m}$  범위의 입자개수가 1 counts/mL를 나타내어, 전입자개수는 약 93%, 3~7 $\mu\text{m}$  범위의 입자개수는 약 97%, 5~15 $\mu\text{m}$  범위의 입자개수는 약 97%의 제거율을 보였으며, 최종적으로 본 시스템의 하단을 통과하면서 전입자개수는 13 counts/mL, 3~7 $\mu\text{m}$  범위의 입자개수는 1 counts/mL, 5~15 $\mu\text{m}$  범위의 입자개수는 0 counts/mL로 거의 모든 입자들이 제거됨을 확인할 수 있었다. 고탁도로 인한 다량의 입자가 유입된다고 해도 본 이단이층 복합여과시스템을 거치면서 병원성 원생동물인 *Cryptosporidium*이나 *Giardia*를 포함한 거의 모든 입자들을 제거할 수 있을 것으로 생각된다.



(a) TOTAL



(b) 3~7 $\mu\text{m}$



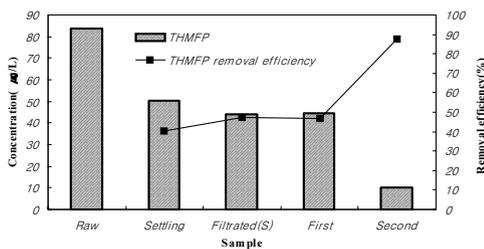
(b) 5~15 $\mu\text{m}$

[그림 7] 파일럿 플랜트에서의 입자개수의 변화

### 3.2.5 THMFPP 및 HAAFP 제거효율 평가

염소는 뛰어난 살균력과 잔류성 그리고 경제성 때문에 정수처리과정 중 병원성 미생물의 불활성화를 위해 그동안 가장 많이 사용되어 왔다. 비록 염소에 의한 소독방법이 공공 정수 시스템에서 유발될 수 있는 질병들에 대한 위험을 감소시켜 왔지만, 발암물질로 알려진 클로로포름( $\text{CHCl}_3$ )이 1972년 네덜란드의 로테르담시에서 염소소독된 수돗물에서 발견되고[9], 1974년 미국 New Orleans 시의 주민 중 수돗물 사용자와 암 사망률 사이에 높은 상관관계를 가지고 있다는 역학조사 결과[10]가 발표되면서 트리할로메탄(Trihalomethanes, THMs)을 포함한 각종 소독부산물에 대한 유해성 문제가 대두되었다. 염소는 자연 유기물질(Natural Organic Matter, NOM)이나 브롬화합물과 반응을 하여 THMs(Trihalomethanes) 이외에 HAAs(Haloacetic acids), HANs(Haloacetonitriles),

Haloketons 등과 같은 할로젠족 화합물들을 형성한다. 미국환경보호청(US EPA)는 THMs 및 HAAs를 발암물질로 정의하고, 최대오염한계(Maximum Contaminant Levels, MCLs)을 각각 80ug/L, 60ug/L로 규정하 바 있다. 우리나라도 현재 55개 먹는물 수질기준에서 소독부산물 관련 항목은 총 7개이며, THMs에 대한 법적수질기준이 1990년 100ug/L로 설정된 이후, 2003년 1월 1일부터 클로랄 하이드레이트 등 5개 항목이 추가되었으며, HAAs 또한 100ug/L로 규제하고 있다[4,11]. THMs 등 소독부산물은 전적으로 휴믹물질 등과 같은 자연유기물질과 같은 THMs 및 HAAs 전구물질의 제거가 필수적이며, 이는 기존의 정수처리공정으로는 잘 제거가 되지 않는다. 따라서 본 연구에서는 THMs, HAAs 생성의 전구물질인 THMFP, HAAFP를 얼마나 제거할 수 있는지를 확인하여 염소소독으로 인한 THMs, HAAs 형성 가능성을 확인하기 위해 이단이층 복합여과시스템 Pilot Plant의 운전 평가 결과를 그림 8, 9에 나타내었다.

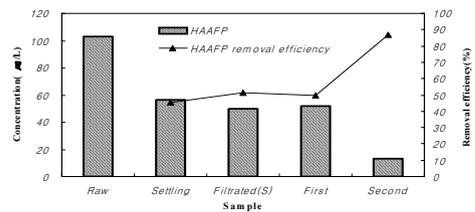


[그림 8] 파일럿 플랜트에서의 THMFP 제거율

그림 8에서 보듯이 S 정수장의 유입 원수에 약 83.6µg/L의 THMFP가 검출되었고, 이것이 S 정수장의 침전지와 여과지를 거치면서 약 50% 정도 제거되는 것을 알 수 있었다. 여과지를 거치면서 50%의 제거율을 보였지만 실제로 여과지에서는 침전지 유출수의 약 5%만을 제거되었을 뿐 여과지 자체에서의 제거율은 상당히 낮음을 알 수 있었다. 그러나 본 이단이층 복합여과지를 거친 최종 여과수에서는 상당량의 THMFP가 제거된 것을 볼 수 있었다. 다만, 상단의 조립여과사층에서는 S 정수장의 여과지와 마찬가지로 침전수 대비 약 5%만 제거되었다. S 정수장의 여과공정과 본 이단이층 복합여과시스템의 최종 THMFP 제거율은 각각 50, 90%로 약 1.8배 정도 본 이단이층 복합여과지의 제거율이 높은 것으로 나타났다. 이러한 결과는 염소소독으로 인한 THMs의 생성 가능성이 기존 급속여과지에 비해 상당히 낮다는 것을 의미한다.

S 정수장의 유입 원수의 초기 HAAFP의 농도는 그림 9에서 보듯이 102.7µg/L로 침전지를 거치면서 56.4µg/L로

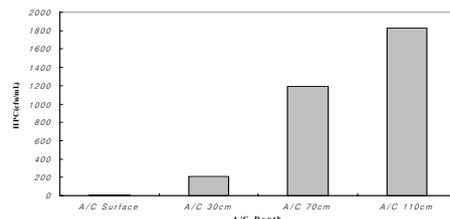
45.4%가 감소되었고 S 정수장의 여과지를 거치면서 49.8 µg/L로 침전수 대비 11.7%의 제거율을 보였다. 전체적으로 51.5%의 제거율을 나타내었다. 반면, 본 이단이층 복합여과지의 상단을 거치면서 침전수 대비 8.2% 제거되었고 하단을 거치면서 상단 대비 74%의 제거율을 보였다. 전체적으로는 유입원수 대비 약 87%의 HAAFP 제거율을 나타내었다. 결론적으로 본 시스템은 S 정수장의 급속 여과지 보다 35.5% 정도 높은 HAAFP 제거율을 나타내었는데, 이는 본 시스템의 하단에 충전된 활성탄층에서의 흡착효과에 기인된 것으로 판단된다.



[그림 9] 파일럿 플랜트에서의 HAAFP 제거율

### 3.2.6 하단의 활성탄층 높이에 따른 HPC변화

본 시스템의 활성탄층에서 미생물의 성장여부를 평가하여 BAC(Biological Activated Carbon)으로의 전환 가능성 여부를 판단하기 위해 약 4개월 운전의 마지막날에 활성탄 높이에 따른 HPC를 측정하여 그림 10에 나타내었다. 그림 10에서 보듯이 활성탄 표층에서는 미생물이 거의 검출되지 않았지만 깊이가 깊어지면서 HPC가 증가하는 것을 볼 수 있었다. 이는 활성탄층에서 미생물의 성장이 일어나고 있다는 것을 의미한다. 생물활성탄층의 형성 가능성이 높다는 것은 수중의 용존 유기물 생물분해 효과를 높일 수 있으므로 THMFP, HAAFP 제거에 효과적인 것으로 생각되며, 3.2.5절에서 나타난 THMFP, HAAFP의 제거율이 기존 모래여과지 보다 약 2배 정도의 효과를 보인 근거자료가 되는 것이다.



[그림 10] 하단의 활성탄층에서의 HPC 변화

#### 4. 결론

본 연구에서는 기존 여과시설의 개선 및 신설시 채택이 가능한 이단이층 복합여과시스템을 경기도 S 정수장에 소규모 파일럿 플랜트를 설치하여 탁도, TOC, THMFP, HAAFP 등의 제거율 분석하여 그 적용성을 평가하였으며, 도출된 결론은 다음과 같다.

1. 파일럿 플랜트 운전시작 직후의 상단과 하단의 탁도 값은 0.72, 0.48NTU를 나타내었으나 시간 경과에 따라 점차 감소하였다. 상단과 하단의 경우 각각 1시간, 40분 이후부터 안정적인 값을 나타내었다. 전 입자개수 역시 80분 이후부터 안정화되었다.
2. 파일럿 플랜트의 안정화 이후 하단의 최종 여과수의 탁도는 침전지 유출수나 상단 여과수의 변화에 상관없이 약 4개월의 운전기간동안 거의 차이가 없이 0.1NTU 이하의 매우 안정적인 탁도를 유지하였다. 하단의 활성탄+세립사층을 거친 최종 유출수의 TOC 분석 결과, 유입 침전지의 유출수 대비 약 80% 정도의 TOC가 활성탄층에서 제거됨을 확인하였다. 원수 대비 UV254 감소율을 살펴보면 침전지가 55%, 본 시스템의 상단과 S 정수장 여과지 유출수가 각각 64, 68% 그리고 본 시스템의 하단의 경우 98% 이상의 감소율을 보였다. 이러한 결과로부터 하단의 활성탄+세립층이 여과지 내로 난분해성 유기물 또는 부식질이 유입된다고 해도 충분히 제거될 수 있을 것으로 판단된다.
3. 본 파일럿 플랜트로 유입되는 침전지 유출수의 입자개수는 평균적으로 전입자개수가 2,288 counts/mL, 3~7 $\mu$ m 범위의 입자개수가 208 counts/mL, 5~15 $\mu$ m 범위의 입자개수가 30 counts/mL을 나타내었는데, 본 시스템의 상단을 거치면서 전입자개수가 152 counts/mL, 3~7 $\mu$ m 범위의 입자개수가 7 counts/mL, 5~15 $\mu$ m 범위의 입자개수가 1 counts/mL를 나타내어, 전입자개수는 약 93%, 3~7 $\mu$ m 범위의 입자개수는 약 97%, 5~15 $\mu$ m 범위의 입자개수는 약 97%의 제거율을 보였다. 결론적으로 고탁도로 인한 다량의 입자가 유입된다고 해도 본 이단이층 복합여과시스템을 거치면서 병원성 원생동물인 *Cryptosporidium*이나 *Giardia*를 포함한 거의 모든 입자들을 제거할 수 있을 것으로 생각된다.
4. 본 파일럿 플랜트에 의한 THMFP와 HAAFP의 제거율은 90%, 87%로 기존 S 정수장의 급속여과지 약 2배정도 높은 제거효율을 보였으며, 이는 본 시스템의 하단에 충전된 활성탄층에서의 흡착 및 생

물분해 효과에 기인된 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- [1] 김태균, 이만호, 허현철, 최영준, 한강원수에 대한 막여과 고도정수시스템의 성능평가, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동추계학술발표회 논문집, pp.57-62, 2006.
- [2] 이길숙, 이광윤, 이범구, 김영태, 이권기, 한강원수에 대한 막여과 조합공정 정수처리시설의 적용성 평가, 한국물환경학회·대한상하수도학회 공동추계학술발표회 논문집, pp.63-72, 2004.
- [3] 김충환, 김한승, 정수 막여과 국제 세미나 리뷰, 상하수도학회지, 17(5), pp.594-605, 2003.
- [4] 김진근, 정상기, 신창수, 조혁진, 국내 정수장의 소독 부산물 생성 특성, 상하수도학회지, 19(3), pp.301-311, 2005.
- [5] 송시범, 조민, 남상호, 우달식, 여과 성능향상을 위한 이단이층 복합여과시스템의 공정선정 연구, 상하수도학회지, 21(2), pp.203-214, 2007.
- [6] Lechevallier M. V., Evaluating the Performance of Biologically Active Rapid Filters, J. AWWA, 84(4), pp.136-145, 1992.
- [7] 문성용, 김승현, 정수처리 공정에서 연속식 입자계수기의 적용성 검토에 관한 연구, 상하수도학회지, 19(2), pp.214-220, 2005.
- [8] AWWA, Water Quality and Treatment. 5th Ed. McGraw Hill, USA. 1999.
- [9] Rook, J. J., Formation of Haloforms during Chlorination of Natural Water, J. Water Treatment and Examination, 23(2), pp.234-243, 1974.
- [10] Page, T., Harris, R. H., and Epstein, S. S., Drinking Water and Cancer Mortality in Louisiana, Science, 193, pp.55-57, 1976.
- [11] Boorman, G.A., Dellarco, V., T., Dunnick, J.K., Chapin, R.E., Hunter, S., Hauchman, F., Gardner, H., Cox, M., Sills, R.C., Drinking Water Disinfection Byproducts: Review and Approach to Toxicity Evaluation, Environ Health Perspect, 107(Suppl 1), pp.207-217, 1999.
- [12] Amirtharajah, A., Optimum Backwash of Dual Media Filter and GAC Filter Adsorbers with Air Scour. AWWA Research Foundation, Denver, 1991.
- [13] 문철훈, 이윤진, 고영송, 남상호, 생물활성탄 및 사여재를 이용한 여과공정에서의 역세척에 관한 연구, 대한환경공학학회지, 25(2), pp.227-233, 2003.

우 달 식(Dal-Sik Woo)

[정회원]



- 1987년 2월 : 건국대학교 환경공학 학과 (학사)
- 1988년 2월 : 건국대학교 환경공학 학과 (석사)
- 1998년 2월 : 건국대학교 환경공학 학과 (박사)
- 1999년 4월 ~ 현재 : (재)한국계면공학연구소 물환경연구실 (실장)

<관심분야>

상수도(관부식 제어, 관세척/갱생, 정수처리), 하수도(관거 보수/보강, 하폐수처리), 수질관리

송 시 범(kil-Dong Hong)

[정회원]



- 1999년 2월 : 고려대학교 공과대학 환경공학과 (학사)
- 2004년 8월 : 고려대학교 대학교 환경공학과 (석사)
- 2004년 9월 ~ 현재 : (재)한국계면공학연구소 물환경연구실 (주임연구원)

<관심분야>

정수처리

황 병 기(Byung-Gi Hwang)

[정회원]



- 1987년 2월 : 한양대학교 토목공학과 (학사)
- 1990년 5월 : (미)Virginia Tech. (석사)
- 1995년 5월 : (미)U. of Virginia (박사)
- 1996년 3월 ~ 현재 : 상명대학교 건설시스템공학과 (교수)

<관심분야>

수질관리모델링, 수질영향평가, 상수도(관부식모델링), 하수도(II 및 누수 분석)