

강변여과(Riverbank Filtration)

❖ 최근 선진국들을 중심으로 소독부산물 전구물질과 원생동물 제어를 위해 도입·운영되고 있는 강변여과에 대해 알아보려 합니다. 지난호에 이어 이번호까지 게재되는 본 자료는 미국수도협회(AWWA)의 협회지에 2003년 10월 게재된 논문(Riverbank Filtration – fate of DBP precursors and selected microorganism)을 번역한 것입니다.

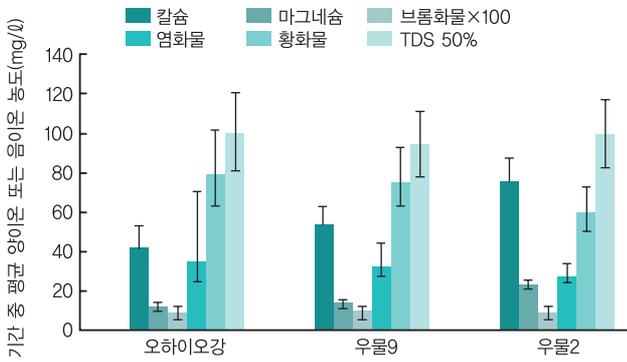
2004년*봄호 __ 1. 소독 2. 배경 3. 현장설명 4. 재료와 방법

2004년*여름호 __ 5. 결과 6. 논의

5. 결과

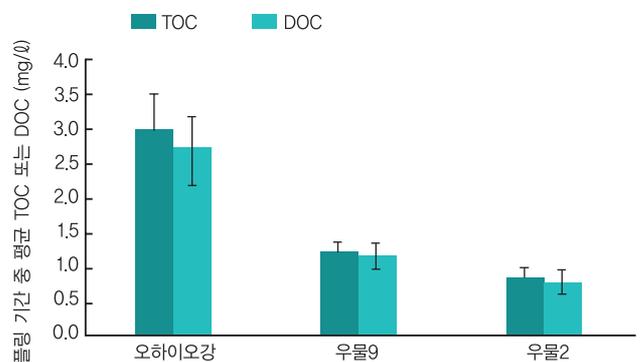
(1) 무기물 관찰

RBF 공정 사용 결과 나타난 수질 변화에 대한 결론을 내리기 전에 여과된 강물과 우물에서 취수한 지하수의 비율을 알 필요가 있다. 3개 연구 지역에서의 지하수의 잠재 희석도 특성을 기술하기 위해서 강물과 취수정물에 대해 온도, pH, 주요 양이온과 음이온을 비롯한 몇 가지 무기 매개변수(Inorganic Parameters)를 측정했다. Jeffersonville과 Terre Haute에서 오하이오 강과 와바시(Wabash)강에서 측정된 무기물 성분의 평균 농도는 각 지역에서



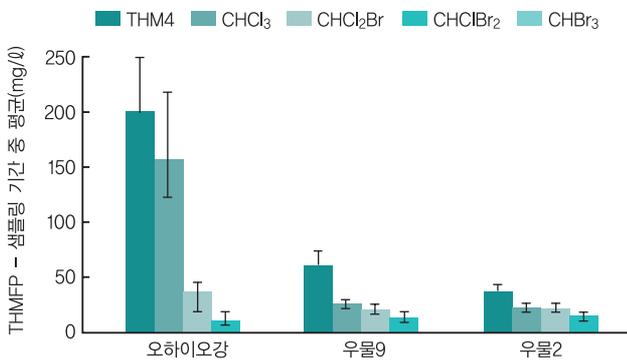
TDS- 총 용해 고형물
샘플링 횟수 = 18회

그림 5) Jeffersonville의 양이온과 음이온 평균 농도



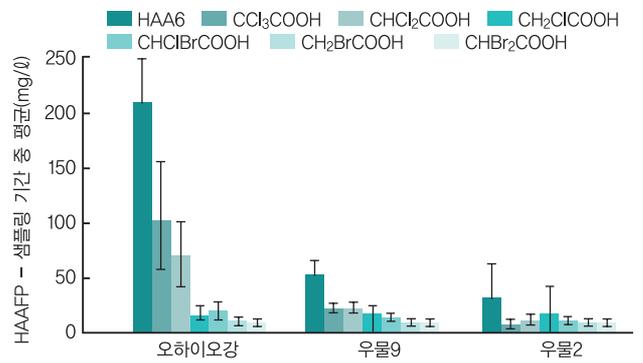
DOC : 용존유기탄소 TOC : 총 유기탄소
샘플링 횟수 = DOC 18회, TOC 19회

그림 6) Jeffersonville의 평균 TOC와 DOC의 농도



샘플링 횟수 = 16회

그림 7) Jeffersonville의 평균 THMFP 농도

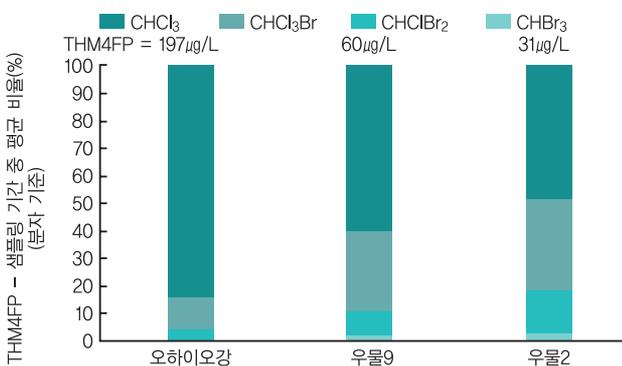


샘플링 횟수 = 16회

그림 8) Jeffersonville의 평균 HAAFP 농도

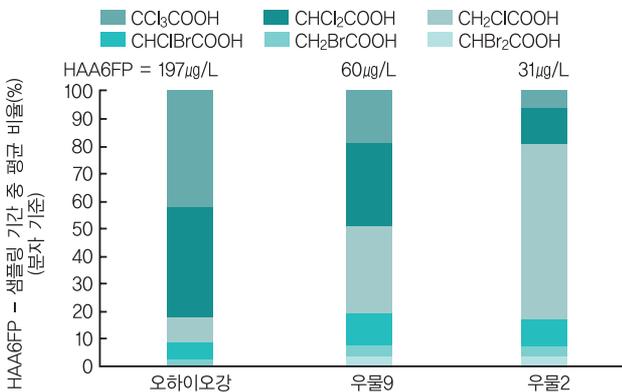
가장 가까운 우물의 평균 농도와 유사했다(예, Jeffersonville의 우물 9호와 Terre Haute의 취수정). Jeffersonville에서 얻은 결과는 그림 5)과 같다. 대부분의 경우 각 성분에 대한 표준 편차를 표시하는 막대가 중복된다. 각 지역에서 멀리 떨어진 우물은 해당 강물 화학조성과 차이가 많이 나고 농도 변동도 덜 나타낸다. 저자들은 이 우물들에서 얻은 결과가 지역 지하수의 영향을 크게 받았을 가능성이 높을 것이라고 결론지었다. Parkville의 경우 2개 우물(우물 4호와 5호)은 미주리 강에서 동일한 거리에 있고 물의 화학조성은 미주리 강물과 유사하다. 이 지역에서는 지역 지하수 화학조성이 미주리 강물의 것과 다른 지 여부를 판단할 수 있는 독립 데이터가 없었다. 하지만 우물까지의 거리가 짧은 점과, 타 지역에서 나온 증거자료들에 비추어 볼 때 저자들은 여과된 강물이 두 우물에서 퍼올려지는 물의 대부분을 차지한다고 믿는다.

(2) Jeffersonville에서의 TOC, DOC 및 DBP 전구물질 감소



THM4FP : 분자 농도에서 계산한 4개의 THM 분포 총합의 trihalomethane formation potential, 평균 THM4FP 농도는 막대 위에 제시되어 있다.

그림 9) Jeffersonville의 각종 THM4FP 분포



HAA6FP : 분자 농도에서 계산된 6개 HAA 분포 총합의 haloacetic acid formation potential, HAA6FP 평균 농도는 막대 위에 제시되어 있다.

그림 10) Jeffersonville의 각종 HAA6FP 분포

그림 5)는 오하이오강, 우물 9호와 우물 2의 물의 평균 TOC와 DOC 농도를 보여준다. 그 우물들의 평균 TOC와 DOC 농도는 오하이오강의 강물의 농도보다 50% 더 낮다. 우물 2호의 경우 TOC와 DOC 감소 원인은 Bank-filtered River Water가 지하수로 희석된 것에서 기인한다고 보인다.

Jeffersonville의 물에 대한 평균 THMFP와 HAAFP 농도는 그림 7)과 그림 8)에 나타나고 있다.

그림 7)과 그림 8)의 가장 왼쪽의 막대는 4개의 각각의 THM 또는 6개의 측정된 HAA 종의(각각 THM4FP와 HAA6FP) 총합을 나타낸다. 나머지 막대는 염소화 종에서 브롬화 종의 순으로 (왼쪽에서 오른쪽으로) 나타내고 있다. THM4FP와 HAA6FP는 오하이오강에서 우물 9호까지 현저히 감소했다. 특히 평균 THMFP와 HAAFP 염소화 농도(브롬을 포함하지 않은 종으로 정의됨)는 80% 이상 감소했다. 반대로 브롬화 종의 FP 농도(하나 이상의 브롬을 갖고 있는 종으로 정의됨)는 40% 이하로 감소했다. 그림 9)과 그림 10)은 각 종의 THM4FP와 HAA6FP 농도(분자 농도를 사용하여 계산됨)의 상대 분포를 보여준다. 두 도표는 RBF 이후 염소화에서 브롬화 종으로의 현저한 이동을 보여준다.

나머지 DBP 종에 대한 데이터는 없다. 하지만 나머지 DBPFP 농도

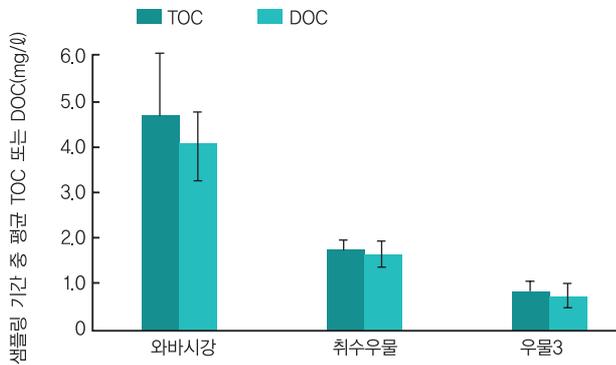


그림 11) 3개 지역 모두에서-인디애나의 Jeffersonville과 Terre Haute, Ind., 미주리의 Parkville-Clostridium, 2개의 세균바이러스(Bacteriophages), Giardia 및 Cryptosporidium 분석을 위해 7회의 샘플(3개월마다)이 채취되었다.

변화는 대체적으로 THMFPP와 HAAFP 농도와 비슷했다. 오하이오 강(평균 농도, 13g/l)과 우물 9호 사이의 HAN4FP 농도는 평균 40% 감소했다. 평균적으로 우물 9호에서의 염소화 HANFP 종(8g/l)의 총 농도는 64% 감소하여 RBF 이후 브롬화 종으로 변화하여 THMFPP와 HAAFP 데이터에서 관측된 결과와 유사하다. 브롬화 HANFP 종은 RBF 이후 아무 변화도 없었다. HK2FP, CHFP 및 CFPFP 농도 감소치는 69% 이상이었다(오하이오강 물의 평균 농도는 각각 4, 40 및 2g/l). 우물 2호 물에서의 감소치가 더 높은 것은 지하수 유입으로 인한 희석의 영향에서 기인했을 것이다.

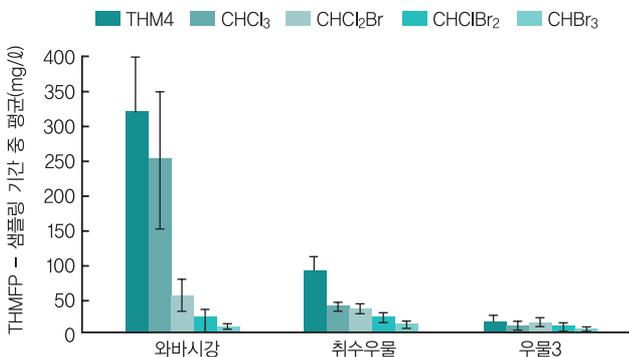
(3) Terre Haute의 TOC, DOC 및 DBP 전구물질 감소

그림 12)는 와바시(Wabash)강, 취수정 및 우물 3호의 평균 TOC와 DOC 농도를 나타낸다. 와바시강과 취수정 사이의 TOC와 DOC 농도 감소는 60% 이상이었다. Terre Haute의 평균 THMFPP와 HAAFP 농도는 각각 그림 13)과 그림 14)와 같다. 평균 THM4FP와 HAA6FP 농도는 와바시강에서 취수정으로 이동한 후 70% 이상 감소했다. Terre Haute의 여러 THM와 HAA중



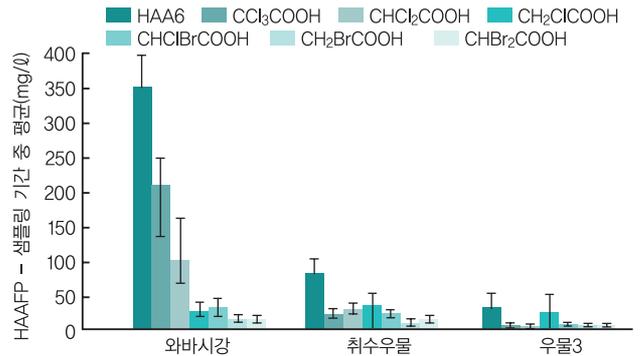
DOC : 용존유기탄소, TOC : 총 유기탄소
샘플링 횟수 = DOC 16회, TOC 19회

그림 12) Terre Haute의 평균 TOC와 DOC 농도



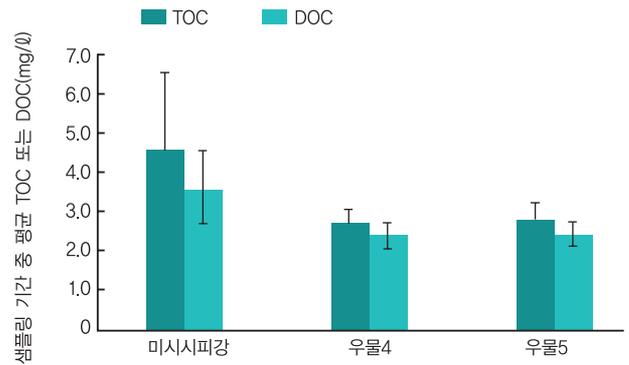
샘플링 횟수 = 18회

그림 13) Terre Haute의 평균 THMFPP 농도



샘플링 횟수 = 16회

그림 14) Terre Haute의 HAAFP 평균 농도



DOC : 용존유기탄소, TOC : 총 유기탄소
샘플링 횟수 = DOC 16회, TOC 18회

그림 15) Parkville의 TOC와 DOC 농도

분포는 THM4FP와 HAA6FP 농도 비율로 보면 Jeffersonville 데이터와 유사하다(그림 9)와 그림 10)). 와바시강에서 취수정으로 이동하는 동안 염소화 종에서 브롬화 종으로 바뀐 것이 관측됐다. 이 강물과 취수정 사이에서의 염소화 THMFPP 및 HAAFP 종의 비율감소는 80% 이상이었다. 브롬화 THMFPP와 HAAFP종의 해당 평균 감소치는 각각 24와 29%였다. 강과 취수정 사이의 HAN4FP, HK2FP, CHFP 및 CFPFP 감소치는 69% 이상이었다(와바시강의 평균 농도는 각각 33, 6, 70 및 3g/l이었다). 브롬화 종으로의 HANFP 농도가 변화한 것이 관측됐다. 와바시강과 취수정사이의 염소화와 브롬화 HANFP종의 평균 농도 감소 비율은 각각 82와 49%였다. 우물 3호 물에서의 TOC, DOC 및 각종 DBPFP 농도 감소치가 더욱 높은 것은 지하수와 희석 작용의 영향을 크게 받은 때문일 것이다.

(4) Parkville의 TOC, DOC 및 DBP 전구물질 감소

그림 15)는 미주리강 물과 우물 4호와 5호의 평균 TOC와 DOC 농도를 보여준다. Parkville의 경우 우물 4호와 5호 모두(미주리 강

에서 동일한 거리에 있음) Bank-filtered River Water가 주류를 이룬다. 강과 우물 사이의 TOC와 DOC 감소치는 각각 약 40과 35%였다. 평균 THMF와 HAAF 농도 감소치는 그림 16)과 그림 17)에 보인다. THMF와 HAAF 감소치는 각각 약 60과 50%였다. 우물 4호와 5호의 감소치는 거의 동일했다.

Parkville의 THMF와 HAAF 농도 분포는 RBF 이후 보다 브롬화된 종으로의 약간의 변화를 보여준다. 강과 두 우물 사이의 염소화 THMF와 HAAF종의 평균 감소치는 각각 약 64와 54%였다. 브롬화 종의 해당 감소치는 모두 16%보다 낮았다. 우물 4호의 HAAF의 경우 RBF 이후 브롬화 종의 평균 농도가 약간 높아진 것이 관측됐다. 염소화 종과 브롬화 종간의 감소 비율의 큰 차이에도 불구하고, 브롬화 종으로의 약간의 변화만 관측된 이유는 염소화된 미주리강에서의 평균 염소화 THMF 및 HAAF종 농도(각각 207와 214g/l)가 평균 브롬화 THMF와 HAAF종의 것(각각 33과 14g/l)보다 약간 더 높기 때문이다. HAN4FP와 HK2FP 감소치는 27~49%인 반면(미주리강 물의 평균 농도는 각각 15와 4g/l) CHFP와 CFP 감소치는 73~97%였다(미주리강 물의 평균 농도 각각 50과 2g/l). 염소화 HANFP종의 평균 농도

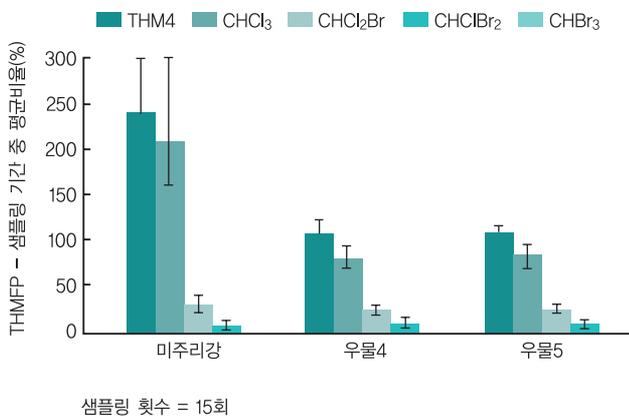


그림 16) Parkville의 THMF 평균 농도

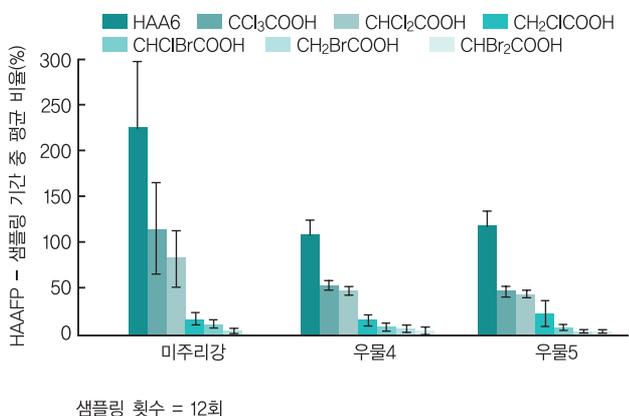


그림 17) Parkville의 각종 HAAF 분포

는 두 우물 모두에서 약 65% 감소했다. 해당 평균 브롬화 HANFP 농도는 RBF 이후 약간 증가한 결과, 브롬화 종으로 변화했다.

(5) 미생물 관찰

3개 지역 모두 Clostridium, 2개의 세균바이러스(E. coli C 속주를 이용하여 측정된 체강 살균과 E. coli Famp를 사용한 수컷 위주의 살균), Giardia 및 Cryptosporidium 분석을 위해 (월 3회) 샘플을 7회 채취했다. Terre Haute에서는 총 Coliform과 E. coli에 대해 추가 관찰을 했다(총 샘플링 15회).

위치	Clostridium 평균개체수 /100mℓ (로그제거)	세균바이러스	
		E.coli C † pju/100mℓ (로그제거)	E.coli F-amp † pfu/100mℓ (로그제거)
인디애나 Jeffersonville			
오하이오강	122	49	12
우물 9	<0.07 (>3.2)	<0.07 (>2.8)	0.09 (2.1)
우물 2	<0.07 (>3.2)	<0.07 (>2.8)	<0.07 (>2.2)
인디애나 Terre Haute			
와바시강	183	147	13
취수정	0.07 (3.4)	<0.07 (>3.3)	<0.07 (>2.3)
우물 3	<0.07 (>3.4)	<0.07 (>3.3)	<0.07 (>2.3)
미주리 Parkville			
미주리강	143	31	6
우물 4	<0.07 (>3.3)	<0.07 (>2.6)	<0.07 (>1.9)
우물 5	<0.07 (>3.3)	<0.07 (>2.6)	<0.07 (>1.9)

*농도(Concentrations)는 ∑(총 샘플링 회수의 개체수) / ∑(총 샘플링 회수의 샘플 분량)으로 산출
 ※ E. coli C과 E. coli F-amp는 파생물 속주이다.

표 2) Clostridium과 세균바이러스 농도*와 로그 제거

Clostridium과 2개의 세균바이러스는 강물에서는 자주 발견됐지만 우물물에서는 좀처럼 보이지 않았다(표 2) 참조). 모든 샘플 채취 회수와 위치마다 동일한 샘플 분량(100mℓ)을 사용했기 때문에 강물에서의 평균 농도는 Parkhurst와 Stern(1998)이 사용한 절차에 따라 계산됐다. 해당 강물이나 우물물의 경우 총 샘플링 회수에서의 수치의 합을 총 샘플링 회수에서의 샘플 총량으로 나누었다. 발견된 것이 없으면 0으로 처리했다. 모든 차수의 샘플링에서 전혀 발견된 바가 없는 일부 우물의 경우, 평균 농도는 1을 총 샘플링 차수에서의 샘플 총량으로 나누어 계산하였으며, 상한선으로 주어졌다. 그런 다음 강물과 우물의 평균 농도를 사용하여 로그 감소치를 계산했다. 오하이오강(Jeffersonville), 와바시강(Terre Haute) 및

미주리강(Parkville)의 평균 Clostridium 농도는 각각 122, 183 그리고 143개/100ml이었다. 강물과 각 지역에서 가장 가까운 우물 사이의 로그 감소치는 >3.2~>3.4였다. 한차례의 샘플링에서 농도가 검출된 Terre Haute의 취수정을 제외하고, 우물물에서의 Clostridium 평균 농도는 검출 한도보다 낮았다(0.07개/100ml). 미생물 숙주로서의 E. coli C로 계산된 세균바이러스의 산술 평균 농도는 오하이오강, 와바시강 및 미주리강에서 각각 49, 147 그리고 31pfu/100ml이었다. 3개 지역의 모든 우물에서 얻은 샘플의 농도는 검출 한도보다 낮았다(0.07pfu/100ml). 강물과 우물물 사이의 E. coli C 세균바이러스에 대한 로그 감소치는 >2.6~>3.3이었다. 숙주로서 E. coli F-amp와 수컷 위주의 세균바이러스의 평균 농도로 계산된 값은 오하이오강, 와바시강 그리고 미주리강 각각 12, 13 그리고 6pfu/100ml이었다. 우물 9호의 물에서는 1회 샘플링에서 검출 가능한 세균바이러스 농도가 나왔다(평균 농도 0.09pfu/100ml). 나머지 우물에 대해서는 모든 샘플링에서 검출 한도보다 낮았다(0.07pfu/100ml). E.coli F-amp 세균바이러스의 로그 감소치는 >1.9~>2.3이었다. Giardia는 와바시강에서는 2회, 미주리강에서는 1회 검출됐지만 오하이오강이나 우물에서는 전혀 검출되지 않았다. Cryptosporidium은 Jeffersonville의 우물 9호에서 1회 검출됐지만 강물이나 나머지 우물에서는 전혀 검출되지 않았다. Giardia와 Cryptosporidium 의 분석 규모는 샘플링 차수와 장소사이에 있어 일관되지 않았다. 강물에서 이루어진 7차례의 샘플링 동안 분석된 총량은 1.2~6.2l이었다. 반대로 우물에서 분석된 총량은 169~346l이었다. 이런 차이는 강물의 입자와 기타 부유물 농도가 높는데 기인한 것으로서, 이는 주어진 샘플링 작업에 있어서 조사될 수 있는 강물의 양을 제한하였다. 이런 상위로 인해 통계적으로 신뢰성 있는 농도나 로그 감소치를 계산하기에는 데이터가 부적합하다.

Terre Haute의 경우 15차례 샘플링을 하는 동안 와바시강에서 Coliforms이 모두 검출됐다. 2차례의 샘플링을 하는 동안 취수정에서 양성 검출이 나왔다. 우물 3호 물에서는 모든 샘플링에서 양성 검출이 나오지 않았다. E. coli는 총 15회 샘플링에서 와바시강에서 검출됐지만 취수지나 취수정 3호에서는 검출되지 않았다.

6. 논의

(1) NOM 감소에 있어서의 RBF 효과

3개 연구 지역에서 수집된 데이터는 RBF가 TOC, DOC 및 DBP 전구물질 농도를 줄이는 데 효과가 있음을 보여준다. 이 결과는 RBF 중 NOM 제거에 대한 기타 연구에 부합한다(Wang, 2003, Kuehn et al, 2000, Kivimaki et al, 1998, Miettinen et al,

1994). Jeffersonville의 우물 9호와 Terre Haute의 취수정과 Parkville의 우물 4호와 5호에서의 TOC와 DOC 감소치는 약 35~67%였다. 와바시강에서 취수정까지의 이동 거리가 3개 연구 지역 중에 가장 짧았지만 취수정 물에서의 TOC와 DOC 감소치는 (각각 67%, 64%) Jeffersonville과 Parkville에서 관측된 것보다 훨씬 높았고 Parkville의 TOC와 DOC 감소치는 3개 지역 중에서 최하였다(약 40%, 35%, 그림 16) 참조.

Joret et al (1988)에서 기술된 바와 같이 생체막(Biofilm)이 코팅 모래에서, 물속의 생분해성 용존유기탄소(BDOC)성분을 측정했다. 물 샘플은 생활성 모래를 주입하여 배양했고 DOC가 최소 농도가 될 까지 주기적으로 DOC 측정을 했다. 최초와 최종(최소) DOC 농도 간의 차이를 이용하여 BDOC를 계산했다. 7차례의 샘플링을 하는 동안 BDOC 평균 농도는 오하이오강, 와바시강 그리고 미주리강에서 각각 0.4, 0.9 그리고 0.4mg/l였다. 평균 BDOC와 평균 DOC와의 비는 각각 0.15, 0.23 및 0.12였다. BDOC 결과는 다른 논문에서 더욱 자세히 논의되고 있다(Weiss et al, 2003b). 결과를 보면 와바시강이 3개 강 중에서 생분해가능 유기물 비율이 가장 높으며 이것은 Terre Haute 지역에서 TOC와 DOC 감소치가 더욱 높아지는 이유에 기여하고 있는 것으로 보인다. 하지만 강물의 BDOC/DOC는 RBF 이후 관찰된 감소치 보다 모두 현저히 낮았고 이것은 수착(Sorption)과 점진적 생분해의 중요성을 보여준다. 이와 다르게, Terre Haute에서의 가로 우물로의 강제 수직 이동이 이점을 제공할 수도 있다. 이러한 구성은 상층 특정 지표면의 강바닥의 세마모 침전물의 흐름을 더 많이 강제로 흘러가게 할 것이다.

각 지역에서 가장 가까운 취수정에서의 THM4FP와 HAA6FP 농도 감소치는 약 50에서 80%에 이른다. HAN4FP와 HK2FP 감소치는 약 30~70%이고 CHFPP와 CPFPP 감소치는 70~100%였다. TOC와 DOC 감소치와 마찬가지로 Parkville에서 FP 농도가 가장 낮은 것으로 나타났다. FP 시험 성격상(염소 농도가 높고 상주 시간이 길다), 데이터는 실제 수처리와 급수 시스템 조건 하에서 나타날 수 있는 DBP 농도를 나타내지 못한다. 하지만 이 3개 지역에서의 RBF 사용을 한 결과 DBF의 전구물질이 극적으로 감소한 점은 데이터에서 입증된다. 대체 FP 시험에서 얻은 결과(동일한 Formation 조건 시험)는 본 논문과 함께 발표된 논문에 나와 있다(Weiss et al, 2003a). 이 시험의 목적은 전형적인 수처리와 급수 시스템에서 있을 수 있는 것과 가장 근접한 염소처리 조건을 제공하는 것이다(Summers et al, 1996).

(2) 할로겐 반응 NOM의 우선적 감소

HANFP의 경우를 제외하면, DBPFP 농도 감소치는 TOC와 DOC 농도의 상응하는 감소치보다 일반적으로 더 높은 데, 이는 유기물 중에서 염소와 브롬 반응분에 대한 우선적 제거를 나타낸다. 이 사실은 기타 수처리 공정에 대한 연구와 일관된다. 예를 들어 Singer(1999)와 Bell-Ajy et al(2000)는 물 응집이 DBP 전구물질을 우선적으로 제거한다고 지적했다. NOM의 방향성 고분자 부분이 가장 할로겐 반응이 높은 물질을 구성한다는 보고도 있었다 (Crou et al, 1999, Owen et al, 1995, Reckhow et al, 1990). 이것은 재래식 처리에서도 가장 잘 제거될 수 있는 부분이기도 하다 (Owen et al, 1995).

(3) 염소화 DBP중에서 브롬화 DBP 중으로의 변화

3개 지역 모두 THMFP, HAAFP 및 HANFP중 분포가 RBF이후 염소화에서 브롬화 중으로 변화하는 것이 관찰되었다. 이러한 변화에 따라 강물과 우물에서의 Br/TOC 비율이 증가하며 Br 농도 감소 없이 대수층을 통과한 이후 TOC 감소에서 연유한다. Jeffersonville과 Parkville의 강물과 우물간 브롬 농도는 유사했다(각각 18회와 19회의 샘플링을 통틀어 Jeffersonville은 0.08~0.09mg/l, Parkville은 0.060.08mg/l). Terre Haute의 경우 와바시강과 취수정에서의 평균 브롬 농도가 유사하여 평균 20차례의 샘플링에 걸쳐 각각 0.17과 0.14mg/l였고 취수정 3호 물의 평균 브롬 농도는 0.08mg/l였다.

브롬 농도는 브롬화 DBP Formation에 주된 역할을 하기 때문에 TOC에 비해 브롬 양이 증가하면 염소처리 이후 보다 많은 브롬화 DBP Formation에 유리하게 작용한다(Singer, 2000, Nokes et al, 1999). 35개 시설에서의 식수에 대한 DBP 연구에서 Krasner와 공동연구자들은(1989) 브롬 농도가 높은 물에서의 브롬화 THM, HAA 및 HAN 중으로의 변화를 관측했다(Krasner et al 연구에서의 브롬 농도는 <0.01~3mg/l였다). 모든 샘플 중 일정한 DOC/브롬/염소 비율로 실시한 염소처리 시험 결과는 즉시 이 논문에서 보고된 연구의 저자들로 하여금 RBF 이후의 DBF의 염소화에서 브롬화로의 변화에 대한 임시적인 대안적 해명(즉, 보다 염소화된 DBP를 담당하는 전구물질에 대한 우선적 제거가 존재한다는 것)을 받아들일 수 없게 만들었다. 저자들은 RBF 이후 TOC에 대한 브롬 비율 증가가 주된 변화 요인이라고 믿는다.

(4) 미생물에 대한 제한된 돌파구

Clostridium과 세균바이러스 농도 감소는 표 2)의 데이터를 기초로 계산할 수 있다. 강물에서 얻은 평균 값, 그 방법에 의한 기존의 알려진 검출 한도, 강물의 평균 농도 계산 방법을 볼 때(표 2)와 앞

선 논의 참고) 저자들이 계산한 바로는 3개 지역 모두 Clostridium 감소치가 3log가 넘고 세균바이러스 감소치는 2log가 넘었다(Parkville의 E. coli F-amp 세균바이러스 감소치(1.9log는 예외). 덧붙여 우물물의 평균 농도는 검출 한도보다 낮았다. Terre Haute에서는 와바시강에서 Coliforms와 E. coli가 자주 검출됐지만 취수정 물에서는 좀처럼 검출되지 않았다. Giardia와 Cryptosporidium의 감소정도에 대한 의미 있는 추정이 불가능한 것은 비검출 사례가 잦은 것, 그리고 강물과 취수정물에서의 샘플 용량이 큰 차이를 보이기 때문이다.

지표수 처리 규칙(USEPA, 1989)에 따라 지표수의 직접적 영향에 있는 지하수는 Giardia 또는 바이러스가 제거될 수 있는 정수처리 신뢰성이 주어지지 않는다. RBF 공정은 의도적으로 취수전에 지표수를 지층으로 통과시킨다. 이 논문에서 제공한 데이터는 Clostridium 포자는 3log 이상, 세균바이러스는 2log 이상 감소했음을 입증했다. 이러한 지표(Indicator)생물들이 Giardia Cysts와 인체 바이러스에 대한 합당한 대용물이라고 가정하면 3개 연구 지역에서의 RBF는 재래식 응집, 침전 및 여과의 성능 요건을 뛰어넘는다.(예. Giardia Cysts 2.5log 제거, 바이러스 2.0log 제거). USEPA는 Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule 개발에 있어서 RBF의 Giardia와 Cryptosporidium 처리에 대한 인증을 부여할 것을 고려하고 있다. 본 연구에서 얻은 데이터는 RBF의 처리능력 인증을 적용하는 것을 뒷받침한다.

7. 결론

3개 중서부 미국 식수 시설에서의 강과 우물물의 수질에 대한 본 연구는 추출된 물의 수질의 현저한 개선을 제공할 수 있는 RBF의 가능성을 입증했다. 특히 지층을 통과한 후 NOM이 크게 제거되면서 염소처리 이후 DBP 형성 가능성이 크게 줄었다. Bank-filtered Waters의 TOC와 DOC 농도는 3개 지역에서 가장 가까운 우물로 지층 이동을 한 후에 35~67% 감소했다. THMFP와 HAAFP 농도는 3개 지역에서 RBF 이후 80%까지 감소했다. 다른 DBP 전구물질(HANFP, HKFP, CHFP 및 CFPF 농도)은 담 여과 이후 30~100% 감소했다. TOC와 DOC 감소에 비례한 DBPFP 농도의 대폭 감소는 할로겐 반응 NOM이 우선적으로 제거됨을 보여준다. 덧붙여 미생물 관찰 데이터를 보면 Clostridium은 3log 이상, 세균바이러스 농도는 >1.9~>3.3log 감소했고 RBF가 미생물 오염물질을 차단하는데 큰 작용을 했음을 알 수 있다. ☺

(본 논문에 대한 의견이 있으면 journal@awwa.org로 연락 바랍니다.)