

대한상하수도학회주최 4대강 살리기와 상하수도대책 심포지엄 특별보고문  
부제 2: 4대강 살리기와 먹는 물 공급

**Great Rivers Restoration Project in Korea and its impacts on drinking water supply systems**

김승현<sup>1</sup> · 윤제용<sup>2\*</sup> · 홍승관<sup>3</sup> · 독고석<sup>4</sup> · 권지향<sup>5</sup>

Seung Hyun Kim<sup>1</sup> · Je Yong Yoon<sup>2\*</sup> · Seung Kwan Hong<sup>3</sup> · Seok Dockko<sup>4</sup> · Ji Hyang Kweon<sup>5</sup>

1 경남대학교 토목공학과, 2 서울대학교 화학생물공학부, 3 고려대학교 건축·사회환경공학과,

4 단국대학교 토목환경공학과, 5 건국대학교 환경공학과



사진 : 2009년 3월 11일 개최한 <4대강 살리기와 상하수도대책> 심포지엄.

## 1. 서론

정부는 2008년 12월 15일 국가균형발전위원회를 개최하여 「4대강 살리기 프로젝트」를 추진키로 하였다. 이에 따라 향후 4년간 4대강을 살리기 위해 14조원이 투자될 전망이다. 이는 한국판 뉴딜 정책이라고도 불린다. 따라서 4대강 살리기 프로젝트는 우리나라 산업 전반에 많은 영향을

미칠 것이며 특히 상하수도에 종사하는 전문인들에게는 여러 가지 면에서 상당한 변화를 야기시킬 것으로 예상된다. 국민 모두에게 4대강은 말 그대로 하천이라기보다는 먹는 물의 원천이고, 오염으로부터 지켜내야 하는 자연유산이다. 상하수도인에게 4대강은 사회 발전의 기반으로서 사업의 대상이고, 연구의 대상이기도 하다. 일례로 우리나라 취수원은 크게 하천 표류수, 하천 복류수, 댐, 저수지수, 지하수로 나뉘

\* Corresponding author Tel:+82-2-880-8927, Fax:+82-2-876-8911, E-mail: jejong@snu.ac.kr(Yoon, J.Y.)

고 하천에서의 취수는 약 50%에 달한다. 또한 총 취수량 19,719,754m<sup>3</sup>/일 중, 한강과 낙동강에서의 취수량은 각각 5,396,040m<sup>3</sup>/일, 3,112,605m<sup>3</sup>/일로 각각 27.4%, 15.8%이며 (환경부, 2007), 이는 전체 취수량의 43.2%를 차지한다. 따라서 본 원고에서는 4대강에 큰 변화를 가져올 것으로 예상되는 “4대강 살리기 프로젝트”의 필요성과 사업 내용을 살펴보고, 맑은 물 공급이라는 수도의 목적을 달성하기 위해 4대강 살리기 사업에서 반드시 고려되어야 할 사항을 정리해 보고자 한다.

## 2. 4대강 살리기 사업의 개요

국토해양부 4대강 살리기 홍보자료에 의하면 “4대강 살리기”는 우리의 강을 거둬나게 하는 4대강 재탄생 프로젝트이다 (국토해양부, 2009). 이 프로젝트를 수행하고 나면 홍수와 가뭄이 사라지고, 금수강산이 펼쳐지며, 경제와 문화가 꽃피는 나라로 발돋움한다고 되어 있다. 4대강 살리기 프로젝트의 필요성은 크게 세 가지로 구성된다. 첫 번째는 최근 지구온난화 등으로 인하여 홍수 및 가뭄 피해가 빈발함에 따라서 근본적인 대책 마련이 필요하다는 것이다. 두 번째는 세계적 경기 침체속에서 국내 실물경기 회복을 위해서는 하천정비 등 SOC사업에 대한 투자를 확대함으로써 신규 일자리 창출 및 내수 진작을 도모할 필요가 있다는 것이다. 세

번째는 하천을 이용한 다양한 수상 레저·문화 활동 공간 및 프로그램을 개발함으로써 지역경제 활성화 기반 마련이 필요하다는 것이다.

첫 번째 필요성에 대해서는 홍수와 관련한 비용을 제시하고 있다. 홍수피해 규모는 증가하고 있는 반면, 사전 예방에 관한 투자 부족으로 사후 복구에 과다한 비용이 지출되고 있는 실정인 것으로 나타났다. 현재 연평균 홍수 피해액은 2.7조원이고, 홍수예방에 집행되는 예산은 1.1조원, 그리고 복구비는 4.2조원이 투자되고 있는 상황이라고 보고되고 있다 (국토해양부, 2009). 2001년부터 국가 및 지방하천 정비와 같은 치수사업에 투자된 비용은 8년간 변화가 없었다고 한다. 또한 2011년까지 약 8억 m<sup>3</sup>의 물 부족이 예상되나 (국토해양부, 2009), 다목적댐 건설반대로 인하여 가뭄 때마다 제한 급수 등 피해가 발생하는 문제를 제기하고 있다. 두 번째 필요성에 대해서는 최근 우리나라의 어려운 경제사정을 제시하고 있다. 미국발 금융위기의 여파로 국내의 모든 경제지표가 외환위기 이후 최악이며, 건설 산업 활성화가 고용과 생산유발 효과 면에서 전 산업의 평균을 상회하므로 건설 산업 경기 활성화를 통하여 경제위기를 극복하겠다는 것이다. 세 번째 필요성은 국민들의 문화적 요구 충족과 지역경제 활성화 특면에서 국민의 78%가 이용하는 4대강을 개발함으로써 (국토해양부, 2009), 국토의 균형 있는 발전을 이룰 수 있다고 되어 있다.

Table 1. 4대강 살리기 사업내용(국토해양부, 2008)

### (1) 4대강 살리기 사업 내용별 예산

구분	사업량	총 추정사업비 (단위:억원)
합계		141,418
1. 하도정비	219.5 × 10 <sup>3</sup> m <sup>2</sup>	26,321
2. 천변저류지	21개소	9,687
3. 배수갑문 증설	2개소	5,617
4. 제방보강	876.6km	17,368
5. 농업용저수지	56개소	34,887
6. 댐 및 홍수조절지	5개소	31,889
7. 하천환경정비	513	14,316
8. 자전거도로	1,376Km	1,168
9. 자연형보	5개소	155

### (2) 4대강별 예산

구분	전체	한강	낙동강	영산강	금강
전체	141,386	42,804(30%)	66,903(47%)	13,780(10%)	17,899(13%)

출처 : 윤제용, 생명의 강을 위한 연구

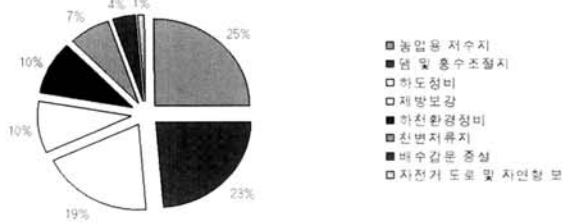


Fig. 1. 4대강 살리기 사업별 예산집행비율

이러한 필요성에 의해서 추진되는 사업은 5개부문으로 구성되는데, 즉 하천복원 프로젝트, 환경복원 프로젝트, 경제발전 프로젝트, 관광발전 프로젝트, 문화발전 프로젝트이다 (국토해양부, 2009). 특히 하천복원 프로젝트는 홍수와 가뭄, 물 부족, 물 오염을 해결하기 위해 추진되는 프로젝트로서 구체적인 내용으로 기존 제방 536 km 보강, 중소규모 댐 및 홍수조절지 5개소 건설, 하천 바닥 준설 및 보 설치, 가뭄에 물 공급이 가능한 그릇 늘리기, 농업용 저수지 개량, 하천 유지용수로 연간 2.2억<sup>3</sup>의 물 사용 등이 계획되어 있다. 이러한 대형 프로젝트에 예상되는 추정된 사업비는 14조원으로 추정하고 있으며 (국토해양부, 2008), 이 가운데 낙동강과 한강유역에 약 77%의 예산이 집중될 것으로 예상된다 (Table 1). 2009년 5월까지 마스터플랜을 수립할 예정이며 결과에 따라 예산소요와 사업내용에 변동이 있을 수 있다.

또한 사용처를 살펴보면 Fig. 1에 나타난 바와 같이 농업용 저수지 개발과 댐 및 홍수조절지 개발에 약 48%, 하도정비 및 제방 보강 등에 약 29%의 예산이 집행될 것으로 추정된다.

### 3. 먹는 물 공급 측면에서 고려되어야 할 사항

#### 3.1 홍수에 의한 영향 및 대책

홍수가 발생하게 되면 먹는 물을 위한 취수원수의 수질은 극도로 악화된다. 탁도 부하가 증가하고, 병원성 미생물과 유기물 농도가 증가하며, 이취미가 발생하고 또 알카리도도 감소하게 된다. 특히 여름철에 강우가 집중되는 우리나라의 경우, 약 90%이상 기간 동안은 평균 탁도가 5 NTU 이하이었다가 약 10%도 안 되는 기간 동안에 120 NTU를 초과하게 된다 (Fig. 2). Fig. 3에 한강의 원수탁도와 한외여과막을 이용하여 한강원수를 처리한 정수의 탁도를 나타내었다. 이 그림에서 알 수 있듯이 여름철에 강우가 집중되는 우리나라의 경우 약 90%이상 기간 동안은 평균 탁도가 5 NTU 미만이었다가 10%도 안 되는 기간 동안에만 100 NTU 이상을 초과하게 된다.

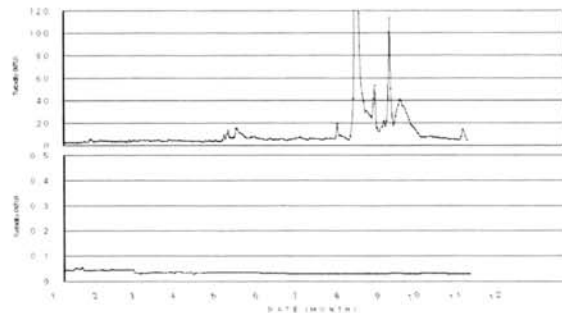


Fig. 2. 고탁도 시기의 취수원수 탁도와 정수 탁도 현황

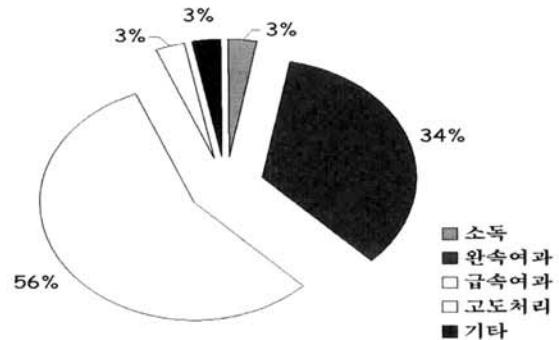


Fig. 3. 정수처리 공정 현황도(상수도 통계, 2007)

홍수 기간 동안 취수원수의 수질 악화는 정수처리 공정에서 응집 및 침전공정 효율을 떨어뜨리고, 급속여과지의 역세척 주기를 단축시키는 등의 영향을 미친다. 많은 국내 정수장에서 지금 적용하고 있는 홍수시의 대응방안은 고효율 응집제를 사용하거나 응집제 투여량을 증가시키는 방법 등이 적용되고 있다. 홍수 시 고탁도 발생에 대한 대처는 소규모 정수장에서 훨씬 더 어려움을 겪을 것으로 판단된다. 운영 중인 522개소에 달하는 정수시설 중의 5000 m<sup>3</sup>/일 이하의 시설용량을 가지는 정수장이 약 300여개에 달하고 있으며, Fig. 3에 나타난 바와 같이 소규모 정수장에서는 많은 경우 완속여과 공정을 사용하고 있는 것으로 나타났다 (상수도통계, 환경부, 2007).

중소규모 정수장은 예산부족과 지자체의 관리 소홀, 전문인력의 부족, 시설의 노후화, 자동화의 미흡 등으로 대규모 정수장에 비해 홍수 시에 나타나는 고탁도에 효율적으로 대처하는 데에 취약하다 (환경관리공단, 2004). 정수기술적인 측면에서 살펴보면 고탁도에 효율적으로 대처하기 위해서는 막여과와 같이 이미 개발되어 있는 기술을 확대 적용할 필요가 있다. 특히 막여과를 중소규모 정수장이나 홍수 시에 나타나는 고탁도 문제 외에는 양호한 수질을 가지는 완속여과지 등에 적용한다면 홍수 시에도 고품질의 먹는 물 생산이

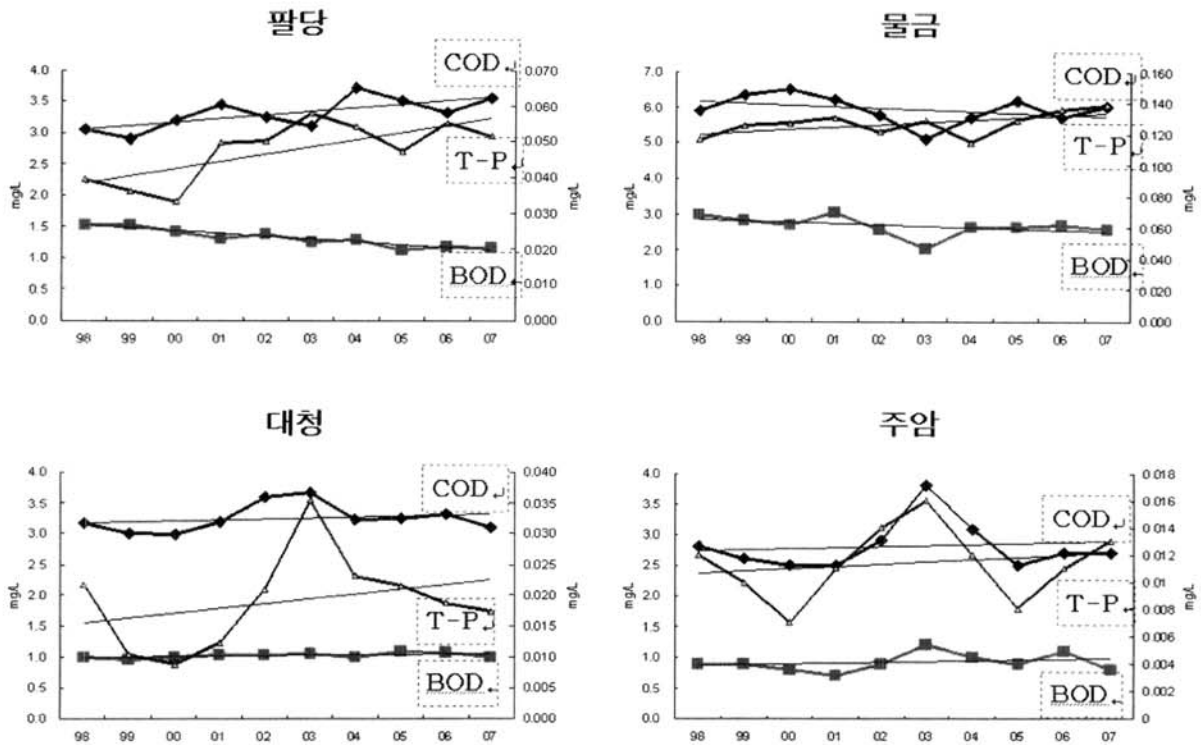


Fig. 4. 1999년부터 2007년까지 4대강 대표 취수 원수의 수질 변화

가능하다고 사료된다. 또한 하천 복류수를 취수하는 많은 중소규모 정수장의 경우 하상여과 기술을 적용하면 보다 안정적인 상수원수를 확보할 수 있다. 중소규모 정수장이나 완속여과지를 기본 공정으로 사용하는 정수장의 경우는 주로 지방의 소도시나 마을 단위에 존재하므로 정수시설의 개량이나 고도정수처리의 도입은 국토 균형발전에 이바지할 수 있을 것이다.

### 3.2 가뭄에 의한 영향 및 대책

홍수에 의한 영향이 단기적인 면이 있다면 가뭄에 의한 영향은 보다 장기적으로 취수원수 및 정수처리에 영향을 미친다. 4대강 취수원수의 현재 수질 상태를 1999년에서 2007년까지의 환경백서 자료로 살펴보면 다음 Fig. 4와 같다. 지속적으로 전개된 수질 개선 사업으로 BOD는 어느 정도 개선되었다고 말할 수 있다. 원래 유기물 농도가 낮은 대청호나 주암호의 경우는 변동이 좀 있으나 1 mg/L이하의 수준을 유지하고 있다. 특히 팔당호의 경우는 BOD 개선이 두드러지게 나타난 편이다. 하지만 COD 및 T-P의 경우는 개선 정도가 미미하거나 증가하는 현상을 나타내었다. 특히 팔당호의 경우, BOD개선 정도가 두드러지는 것과 필적하게도 COD증가가 두드러졌다. T-P의 경우는 팔당호와 물금호 두 군데 모두 증가추세를 뚜렷하게 보여주고 있다. 하수

처리장의 증설은 BOD 개선에는 기여하였지만 방류수 중의 높은 농도의 인과 같은 영양염류 방출로 인하여 국내 대부분의 하천에서 부영양화가 심각하게 증가하고 있다 (김범철, 2009).

이러한 상황에서 가뭄이 발생한다면 급격한 조류번식에 의한 하천수 수질 악화는 예상가능한 시나리오이다. 특히 유량이 적은 하천의 경우는 하수처리장 방류수가 하천 유지용수의 대부분을 담당하게 되는 경우도 발생할 것이다. 이러한 경우에는 상수원수에서 조류 번성은 안정적인 정수처리 공정에 큰 부담으로 작용할 것이고 하수처리장에서 제거되지 못한 오염물질들이 상수원수에 크게 유입될 가능성이 많다. 가뭄에 따른 하천 유량 감소에 의해 특히 하천내의 바이러스 혹은 크립토스포리디움과 같은 병원성 미생물이나, 기타 미량유기물질의 농도가 증가하는 문제점이 있다.

병원성 미생물인 크립토스포리디움과 지아디아는 표준정수처리 공정에서 잘 제거되지 않아 수백 명의 노약자에게 수인성 질병을 발병시킴으로써 문제가 되었다. 국내에서도 1997년 서울시 수돗물에서 바이러스 검출 논쟁에서 시작하여 2001년 중소규모 정수장 처리수에서 바이러스가 검출이 확인되어 수돗물 불신이 크게 확산되는 계기가 되었고 2002년에 발효된 정수처리에 관한 기준에 의하여 바이러스는 4log 제거율을, 지아디아는 3log 제거율을 가지도록 관리되

고 있다 (최와 윤, 2004). 미국이나 일본과 같이 앞서 말한 원생동물에 의한 수인성 질병 발병을 겪은 나라에서는 표준 정수과정 보다 정밀막여과나 한외막여과와 같이 미생물을 완벽하게 제거할 수 있는 시스템을 적극적으로 도입하고 있는 실정이다. 현재 우리나라는 원수 중의 크립토스포리디움과 지아디아 개체 수에 대한 자료를 지속적으로 축적하고 있는 단계이다. 가뭄으로 인해 하천수 유량이 감소하게 되면 상기의 병원성 미생물 농도 또한 높아지게 되므로 좀 더 적극적인 정수처리과정에서의 가뭄대책이 필요하다고 사료된다.

고품질 음용수에 대한 요구가 증가하고 있는 것과 비슷한 양상으로 건강 문제에 대한 관심이 증대되면서 환경호르몬 및 의약품계열 물질 등의 신종 유해물질 제거에 대한 연구가 활발히 진행 중이다 (Kimura et al., 2003). 의약품 및 개인 위생용품 (Pharmaceutical & personal care products, PPCP)은 처방약품, 비타민, 상비약, 건강증진약품 및 수의약품 등으로서 수계 내에 배출되어 미량으로 존재하는 유기물질들이다 (Fig. 5). PPCP는 주로 생활오수에 잔존하거나, 제약회사 폐수 및 폐기물, 병원 폐수 및 폐기물, 축산농가의 폐수 및 폐기물 그리고 양식장에서 발생하여 수계로 유입된다. 현재 수중에서 미량으로 검출되고 있지만, 인체에 장기간 지속적으로 노출될 경우에 건강상 직접적인 해를 끼치는 독성 유해물질 및 발암성 물질 등과 같은 잠재적 영향을 나타낼 수 있다 (Yoon et al., 2006). 특히, 이들 물질은 기존 하수처리 공정에서의 제거가 어려울 뿐 만 아니라 취수원수에 존재 시 현재의 정수처리과정만으로는 효과적인 제거가 어려워 음용수를 통해 가정에 그대로 공급될 가능성이 매우 높다고 알려져 있다 (Choi et al., 2007).

또한 항생제 역시 수생태계와 인체에 대한 위해성이 알려져 있고, 하수처리 미생물에도 악영향을 끼치며, 생태계 미생물이 기존 항생제에 내성이 생기게 하는 등의 문제점이 발생하고 있다. 2003년 국내 축산농가에서 약 1,460 톤의 항생제를 사용한 것으로 나타나 있고 (Jung, 2003), 슬러지에서 20-40 mg/L의 고농도 항생제가 검출된 바 있다 (Hamscher et al., 2002). 또한 일부 의약품 하수처리장 방류 인근에서도 항생제가 검출되고 있는 상황이다 (Choi et al., 2007, Adams et al., 2003). 항생제 역시 기존의 하수처리 과정에서 완전하게 제거되지 못하고 있는 실정이며, 정수처리 공정에서의 제거도 역시 많은 연구가 필요한 실정이다. 알려진 바에 의하면 기존 정수처리 공정인 응집, 침전, 여과공정은 항생제 제거에 불완전하고, 활성탄 여과와 오존처리의 경우에 PPCP 제거는 비교적 효과적이거나 일부 항생제 제거는 효과적이지 않은 것으로 나타나 있다. 다만, 염소와 오존에 의한 산화처리는 항생제 제거에 효과적이거나 실제 원수에 적용하여 그 효과를 검증받아야 하는 단계이며,

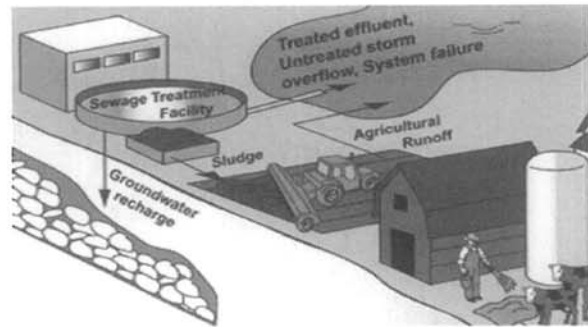


Fig. 5. 의약품 및 개인위생용품(PPCP)의 수계 내 흐름도.

UV처리는 제거율이 높은 편이나 램프 종류에 따라 효율이 다르므로 이에 대한 연구도 더 필요한 상황이다 (Choi et al., 2007; Balcioglu, 2003; Terns et al., 2002). 가뭄 시에는 위의 미량 유기물질들이 유입농도가 높을 뿐 만 아니라, 또한 처리하는 정수장의 설계기준에 밀도는 유량으로 말미암아 적절한 처리가 이루어지지 않을 가능성이 높으므로 정수에서의 위험성을 배제하기 어렵게 된다.

가뭄에 의해 예상치 못했던 유기물질이 문제가 된 최근의 예로 1,4-dioxane을 들 수 있다 (이와 윤, 2004). 평수량인 경우에는 문제가 되지 않는 부하량이었으나 가뭄에 의해 권고치 이상의 농도가 발현된 경우이다. 다이옥산은 대기 중 발암물질로 알려진 다이옥신과 혼동을 일으켰던 물질로 물이나 유기용매에 용해되는 극성화합물이다 (이와 윤, 2004). 이 물질은 주로 염소계 용매 안정제, 세정제, 페인트 광택제, 니스코팅제, 접착제, 화장품과 의약품의 용매로 사용된다. 우리나라의 수질기준은 존재하지 않으나 서울시와 환경부에서는 감시항목으로 지정하여 관리하고 있고, WHO 등의 농도 권고기준은 50 ppb이다. 최근 낙동강에서의 검출 농도가 원수에서 80 ppb이었고, 정수에서는 59 ppb 수준인 것으로 나타났다. 오존과 과산화수소를 이용한 고도산화 공정에서는 적절한 농도를 유지하면 약 10분간의 접촉시간으로 90% 이상 제거할 수 있다는 실험보고도 있다.

비슷한 이유로 문제가 되기 쉬운 물질은 NDMA (N-nitrosodimethylamine)이다. 주로 로켓 액체연료 성분으로 이용되며, 고무, 폴리머, 농약, 염료, 철강 등의 산업체에서 사용되는 것으로 알려져 있다. 발암물질로 알려져 있는 이 물질은 캐나다 온타리오 환경청에서는 9 ng/L 이하의 농도를 유지해야 하는 것으로 규제하고 있다. 하지만 같은 지역의 하수처리장에서의 최고 검출농도는 220 ng/L이며 정수장 원수의 경우 1 ng/L 이상을 갖는 경우가 45% 이상 되는 것으로 나타났다고 보고되고 있다. 이 물질은 더군다나 활성탄 흡착이나 고도산화와 같은 고도정수처리로 제거가 어려우며, UV가 가장 효과적이라고 알려져 있으나



Fig. 6. 낙동강 수계 취수현황도 (국토해양부, 2008)

재생성이 가능하다는 점에서 문제가 심각하다 (김과 유, 2002). 특히 Fig. 6에 나타난 바와 같이 낙동강 수계의 경우, 각종 공단이 산재해 있는 까닭에 위에 언급한 1,4-dioxane 이나 NDMA에 의한 문제가 생길 가능성이 높다.

향후 언제든지 발생 가능한 가뭄시의 수질악화에 대비하기 위해서는 현재는 대규모 정수장을 중심으로만 도입되고 있는 고도정수처리가 중소규모 정수장까지 확대되어야 한다. 또한, 희석을 통한 먹는 물 기준을 맞추려는 것은 문제해결의 적당한 방법이 아니며 주요한 오염가능 물질에 대한 발생원 관리도 이루어져야 한다고 본다. 미량유해물질에 대해서는 검출현황 및 독성 조사, 분석방법의 개발, 오염물질별 최적 처리공정 개발 등 관련 연구가 지속적으로 전개되어야 한다. 우리나라는 선진외국에서 문제가 된 미량유해 물질들을 뒤늦게 측정분석하고 있는 실정으로 국내 수계 내에서 문제시 될 수 있는 미량유해물질을 화학물질 사용현황에서부터 시작하여 수계내의 농도 예측과 실제 농도 분석, 처리 방법 개발 등이 이루어져야 할 것이다.

### 3.3 물 부족에 의한 영향 및 대책

물 부족 국가로 분류되어 있는 우리나라는 2011년 8억 m<sup>3</sup>의 물이 부족할 것으로 예측되었다. 이러한 물 부족문제에 대한 대안으로 유수율 개선과 대체수자원 개발 등이 이루어져야 한다. 2006년 정수 생산량이 57.4억 m<sup>3</sup>이었고 유수율이 80%이었으므로 (환경부, 2007), 유수율을 10% 개선한다면 약 5.7억m<sup>3</sup>의 물을 충당할 수 있을 것이다. 또한 바

다를 면하고 있는 국내 현황을 이용한 해수담수화, 강변여과와 빗물이용과 같은 가능한 다양한 대체 수자원을 개발할 필요가 있다.

해수담수화의 경우 지구상 물의 97% 이상이 바다에 있으므로 수량으로만 따지면 가장 용량이 큰 대체수자원일 것이다. 더군다나 최근 해수담수화 기술 발전으로 말미암아 해수담수화 가격은 지속적으로 하락하여 Tampa의 경우 0.7 USD/m<sup>3</sup>이었고, Ashkelon은 0.6 USD/m<sup>3</sup>, 그리고 TUSA는 0.5 USD/m<sup>3</sup>으로 나타났다 (Voutchkov, 2007). 국내 해수담수화 시설은 대부분 50 m<sup>3</sup>/일의 소규모 용량이고 도시지방에만 현재 설치되어 있다. 하지만, 전 세계 최대 규모의 EPC회사로 두산중공업이 있고, 또한 아시아 최대 규모의 BWRO플랜트(96,000 m<sup>3</sup>/일)를 보유하고 있는 현대정유가 있어서 기술력은 상당부분 보유하고 있다. 더욱이 최근 전 세계 최대 규모의 SWRO에 대한 연구가 수행중이어서 향후 관련 경쟁력은 크다고 판단된다.

앞서서 복류수를 취수원으로 시설이 낙후된 중소규모 정수장에 검토해볼 만한 기술로 강변여과 또는 하상여과의 경우도 대체수자원 개발의 하나로 고려해 볼 수 있다. 현재 창원에 85,000m<sup>3</sup>/일, 함안에 22,000m<sup>3</sup>/일 규모의 강변여과 시설이 설치되어 있다. 국내 강변여과의 특징은 시설비와 수요에 비해 산출유량이 적고, 철·망간, 질산성 질소, 경도 등 오염물을 함유하고 있다는 점이다. 또한 하류지역에서는 염수함유 가능성이 존재하는 등 입지조건이 까다로운 점도 존재한다. 따라서 대수층 통수능이 제한적이고 대용량 집수정 보다는 소용량 집수정이 적합한 것으로 보고된 바 있다. 김 등(2009)은 국내실정에는 여과층 길이가 60-100 m에 달해 수리학적 체류시간이 50-100 일인 강변여과보다 하상을 이용한 여과가 더 적합하다고 밝힌바 있다. 단 하상여과는 강 하부에 집수정이 설치됨으로서 수리학적 체류시간이 0.5-3 일로 짧고 대량 취수가 비교적 용이하나 크립토스포리디움과 지아디아 등 병원성 미생물의 유입가능성이 크다. 다양한 조건에서의 연구를 통하여 그 지역 조건에 적절한 방법의 선택이 필요한 실정이다.

빗물을 이용하는 것도 중요한 대체수자원 기술 중의 하나라고 판단된다. 빗물시설은 운동장과 같은 넓은 공공장소의 지하저류조, 유출저감 시설, 단지 내 저류시설 등이 있다. 최근과 같이 가뭄이 지속되어 하천 유지용수량이 저하될 때에는 지표면 유출을 늘려야 될 필요가 있지만, 여름철 호우가 집중될 때에는 단지나 건물 내의 빗물 저류조는 강우의 순간유출을 낮춤으로써 홍수예방에도 도움이 될 것으로 보인다.

물이 절대적으로 부족한 싱가포르의 NEWater 사례는 물 부족에 대비하는 또 하나의 대안을 제시하고 있다. 자체적인

Table 2. 4대강 살리기 사업에서 먹는 물 공급을 위한 수도시스템에 고려되어야할 사항

	기존 사업내용	고려되어야할 사항
홍수	-기존 제방 536km 보강 -중소규모 댐 및 홍수조절지 5개소 건설 -하천 바닥 준설 및 보 설치 -농업용 저수지 개량	-중소규모 정수장에서 고탁도 대비 시설 필요 -중소규모 정수장 대상 막여과 시설 도입
가뭄	-가뭄에 물 공급이 가능한 그릇 늘리기 -하천 유지용수로 연간 2.2억m <sup>3</sup> 의 물 사용 -친환경 보 설치	-미량 유해물질 발생 대처 -중소규모 정수장의 고도정수처리도입 -상수원수에서 인농도관리
물 부족	-하천 유지용수로 연간 2.2억m <sup>3</sup> 의 물 사용 -중소규모 댐 및 홍수조절지 5개소 건설	-배급수 유수율 제고 -다양한 대체수자원개발 -빗물관리

수원이 부족하여 말레이시아로부터 사용하는 물의 대다수를 공급받고 있다. 따라서 싱가포르의 자체 생산가능한 대체수자원으로 NEWater를 개발하게 된다. NEWater는 하수처리수를 고도정수처리를 통한 재이용기술로 생산해 낸 취수원수로서 2003년부터 개발하고 있다. 고도정수 후처리를 거친 재이용수는 공업용수로 사용되거나, 자연 습지 혹은 지하수 함양 등을 이용하여 자연 정화를 거친 후 음용수 원수로 사용하는 고도환경용수로 사용된다. 이러한 NEWater 사업을 통해 최신 정수기술을 다양하게 적용하고, 또한 미량유해유기물질이나 미생물과 관련한 여러 실험을 수행함으로써 물에 관한 세계적인 선두주자로서 인식되고 있다.

#### 4. 결론

하천을 복원하여 홍수, 가뭄, 물 부족 문제를 해결하고 친수환경을 조성하고자 하는 4대강 살리기의 목적은 충분히 의미가 있다고 사료된다. 하지만 현재 14조가 넘는 정부의 4대강 살리기 사업에서는 대다수 국민의 먹는 물의 원천으로서의 4대강에 대한 고려가 매우 부족하다. 맑은 물 공급 측면에서 4대강 살리기 사업에는 중소규모 정수장에서의 고탁도와 미량유해물질 발현에 대비 가능한 고도정수처리의 확대 도입, 해수담수와 혹은 하상여과 등과 같은 대체수자원 개발 등이 포함되어야 한다. 또한 국내하천의 전반적인 부영양화가 진행되는 시점에서 가뭄 시에 우려되는 조류 번성은 정수처리에 큰 어려움을 줄 수 있다. 유역관리를 통한 상수원수의 개선은 물론 조류번성 시 정수처리가 어려운 중소규모 정수장에 대한 시설개선은 매우 필요하다.

추가하여 절대적으로 물이 부족한 싱가포르에서의 NEWater 사업과 같이 극한 상황에 대비 가능한 고도수처리 기술 개발이 병행되어야 한다고 판단된다. 지구온난화로 인

해 예측이 어려운 향후 물 수요와 고품질의 맑은 물 요구에 적합한 고도 물 처리 기술을 확보할 수 있는 기회로 삼아 수도기술이 미래 성장 동력으로 도약할 수 있도록 4대강 살리기 사업이 진행되기를 기대한다.

#### 참고 문헌

1. 국토해양부(2009) *맑은 강물, 청정 자연, 우리의 미래 "4대강 살리기"*
2. 국토해양부(2008) *4대강 살리기 프로젝트*
3. 김법철(2009) *우리나라 하천의 부영양화 실태와 대책*, 맑은 하천 시민포럼창립 심포지움
4. 김승현, 유이종(2002) NDMA: 새로운 도전, *대한환경공학회지*, 24(4), 743-746.
5. 박태주(2009) *기후변화 적응 및 신 성장 동력으로서의 4대강 유역관리*, 제 2회 국정과제 세미나
6. 이운호, 윤제용(2004) *수돗물에서 1,4 다이옥산의 검출과 관리, 첨단환경기술*, pp92-100
7. 최승일, 윤제용(2004) 정수처리 기준의 의미와 준비현황, *상하수도협회지*, pp 28-33
8. 환경관리공단(2003) *수돗물수질개선과 중소규모 상수도시설의 효율적 관리방안*
9. 환경부(2007) *상수도통계*
10. Adams, C., Qiang, Z., Barnes, E., Kurwadkar, S., Meyer, M.(2003) *Occurrence and control of sulfonamides and macrolides antibiotics in full-scale drinking water treatment plants*. Proceedings of the Third International Conference on Pharmaceuticals and Endocrine Disrupting Chemicals in Water, Minneapolis
11. Balcoglu, I.A. and Otker M.(2003) Treatment of

- pharmaceutical wastewater containing antibiotics by  $O_3$  and  $O_3/H_2O_2$  processes. *Chemosphere*, 50, 85-95.
12. Choi, K.J., Kim, S.G. and Kim, S.H.(2007) *Antibiotics removal using oxidation, UV irradiation and adsorption*, In Chemical Water and Wastewater Treatment IX. Hahn, H.H., Hoffmann E., Odegaard, H. (Eds). IWA Publishing, 363-370.
  13. Choi, K.J., Ki, S.G., Kim, S.H.(2007) Determination of antibiotics compounds in water by on-line SPE-LC/MSD. *Chemosphere*. 66, 977-984.
  14. Hamscher, G., Sczesny, S., Hoper, H. and Nau, H.(2002) Determination of persistent tetracycling residuals in soil fertilized with liquid manure by high-performance liquid chromatography with electrospray ionization tandem mass spectrometry. *Anal. Chem.*, 74, 1509-1518.
  15. Jung, S.C.(2003) *Establishment of control system of antibiotics for livestock*, Annual Report of Korea Food and Drug Administration, 1113-1114.
  16. Terns, T.A., Stuber, J., Hermann, N., McDowell, D., Ried, A., Kampmann, M. and Teiser, B.(2003) Ozonation: a tool for removal of pharmaceuticals, contrast media and musk fragrances from wastewater *Water Res.*, 37, 1976-1982.
  17. Voutchkov, N.(2007) *More affordable seawater desalination*, Government Engineering, 59-61.