

수돗물 불소화 사업의 검토

안 혜 원

수원대학교 환경공학과

수돗물 불소화란?

수돗물 불소화란 충치(치아우식증)를 예방할 목적으로 약 1ppm 정도의 불소를 수돗물에 첨가하는 것을 말한다. 우리 나라에서는 1981년 경남 진해시, 1982년 충북 청주시에서 이러한 수돗물 불소화 시범사업이 시작되었으며, 최근 5년 동안 과천, 포항, 남양주, 강원, 대전, 울산 등으로 수돗물 불소화 사업은 급속하게 확대되고 있다. 그러나, 서울시의 수돗물 불소화 사업 시행기관인 상수도사업본부에서는 이 사업에 대한 반대의견을 제시하였으며 이밖에도 많은 반대의견이 다양한 경로로 대중들에게 알려지기 시작했다. 녹색평론 발행인 겸 편집인인 김종철 교수의 권유에 따라 월간 「말」 1998년 5월호에 번역·소개된 “불소, 치아, 원자탄”이라는 글에는 수돗물 불소화 정책은 원자탄 개발계획의 일환이라는 충격적인 내용이 실렸고, 같은 해 8월 8일에는 「수돗물 불소화의 문제」라는 녹색평론 특별자료집이 발간되었다. 또한 지난 해 8월 20일에는 서울 YMCA시민 증계실 주체로 “서울시 수돗물 불소화 어떻게 할 것인가?”라는 주제의 소규모 발표와 토론이 있었으며, 건강사회를 위한 치과의사회에서는 9월 30일과 11월 26일에 각각 「수돗물 불소화에 대한 올바른 이해」 및 「수돗물 불소화 논쟁의 진실」이라는 자료집에서 녹색평론 특별자료집을 포함한 수돗물 불소화를 반대하는 이유들을 비판하였다. 이렇게 논란이 되고 있던 수돗물 불소화 사업에 대한 공청회가 1998년 11월 27일 서울특별시 주최로 세종문화회관 소강당에서 열리게 되었으며, 이 공청회에 참석한 시민들의 의견을 조사한 결과, 60%이상이 수돗물 불소화를 반대하였다. 이렇게 수돗물 불소화 사업이 논쟁이 계속되고 있는 중요한 시기에 이제까지 제기된 수돗물 불소화의 찬성과 반대의견을 간략히 살펴보고, 현재 진행 중인 몇 가지 실험결과를 소개하고자 한다.

국내외 수돗물 불소화의 역사

수돗물 불소화를 찬성하는 이들은 수돗물 불소화가 추진된 경위를 다음과 같이 설명하고 있다. 1901년 미국의 공중보건국 의사가 화산폭발지역의 주민들의 이가 검다는 것을 보고하였으며, 이러한 증상을 후에 반점치(반상치, 혹은 치아 불소증)라고 명명하게

되었다. 1920년대에 이러한 치아를 가지고 있는 어린이는 충치가 적다는 것을 발견하였고, 1931년 처칠은 그 원인이 물에 들어 있는 불소 때문이라는 것을 밝혔다. 따라서, 수돗물의 불소농도, 반점치, 충치발생 사이의 상관관계를 밝히고 반점치 발생률을 최소로 줄이면서 충치를 감소시킬 수 있는 불소의 적정농도를 약 1ppm로 결정함으로써, 수돗물 불소화 사업의 기초가 마련되었다고 알려져 있다.

미국은 세계에서 최초로 1945년 1월 미시간주의 그랜드 래피드의 수돗물에 1ppm의 불소를 첨가하였으며, 이러한 수돗물 불소화 사업은 1945년 5월에는 미국 뉴욕주의 뉴버그, 다음 해인 1946년 6월에는 캐나다 온타리오주의 브랜포드, 1947년 2월에는 미국 일리노이주의 에반스톤에서 실시되었다. 현재 불소가 들어있는 수돗물은 미국 전체 인구의 약 62%에 공급되고 있으며, 미국 외에도 캐나다, 브라질, 베네주엘라, 오스트레일리아, 소련 등에서도 수돗물 불소화 사업이 진행 중이며, 홍콩과 싱가포르의 전 수돗물에는 불소가 함유되어 있다고 보고되고 있다. 따라서, 현재 60여개국에서 세계 전체 인구의 5%가 수돗물에 불소가 들어간 지역에 살고 있다.

반면에 환경전문기자인 조엘 그리피스, 크리스 브라이슨은 Earth Island Journal에 수돗물 불소화 정책은 원자탄 개발계획의 일환이라는 수돗물 불소화의 실시 이유에 대한 전혀 다른 새로운 사실을 밝히는 글을 최근에 발표하였다. 이 내용은 앞서 언급한 바와 같이 월간 「말」 지에 실렸으며, 이러한 주장은 수돗물 불소화를 반대하는 이들에 의하여 많이 소개되고 있다. 즉, 원자탄 생산에 필수적인 불소를 뉴저지주의 듀폰화학 공장에서 비밀리에 생산하는 과정에서 불소가 공장 주위의 농장물과 가축에 피해를 입히자 주민들이 제소하게 되었다. 이러한 주민들의 불소에 대한 두려움에 대응하기 위하여 원자탄 생산에 참여한 과학자들에 의하여 미국에서의 수돗물 불소화가 시행되었으며, 불소는 알루미늄이나 인산염비료 제조시 부산물로 생성되므로 이러한 회사들이 수돗물 불소화사업을 적극 후원하였다는 것이다.

미국을 비롯하여 미국의 영향을 많이 받고 있는 국가들에서 수돗물 불소화가 시행되고 있는 것에 반하여 서유럽국가 및 일본에서는 이러한 사업이 시행되지 않았거나 시범 사업 후 중단되었다. 덴마크에서는 저농도의 불소를 장기간에 걸쳐 신장기능이 떨어진 환자나 노인들이 섭취할 때 나타날 수 있는 위해성에 대한 충분한 연구결과가 없다는 이유로 수돗물 불소화를 금지하였으며, 네덜란드에서는 특정인에 나타나는 신경 근육계 및 위장관계의 위해성으로 인하여 수돗물 불소화가 금지되었다. 또한 서독, 벨기에, 스웨덴에서는 수돗물 불소화 사업을 시험적으로 시행한 후 중단하였으며, 프랑스, 이태리, 노르웨이에서는 이러한 사업이 시행된 바 없다. 이 밖에도 아시아 국가인 중국에서는 수돗물 불소화사업이 시험적으로 실시되고 있으나, 일본에서는 시험사업 후 수돗물 불소화를 중단하였다.

수돗물 불소화, 충치 예방의 유일한 방법인가

수돗물 불소화를 찬성하는 이들은 우리 나라의 충치발생빈도가 높으며, 특히 이러한 발생빈도가 증가 추세에 있으므로 수돗물 불소화가 반드시 필요하다고 주장한다. 즉, 우리 나라 학생들에게 가장 흔한 질병이 충치며, 65세 이상의 한국인 2명 중 한 명은 틀니를 끼게 되는데, 이러한 원인의 85%는 충치 때문이라고 한다. 하지만, 수돗물 불소화가 시행 중인 청주에서는 약 40~50%의 충치예방효과가 보고되고 있으므로 수돗물 불소화를 시행하여 특히 저소득층에 많은 혜택을 주어야 한다고 홍보를 하고 있다.

반면에 수돗물 불소화를 반대하는 이들은 불소가 충치를 막아주는 것은 인정하지만 불소의 용도는 수돗물 불소화 외에도 불소 양치액, 불소치약, 불소도포, 불소정제 등 여러 가지이므로 어떠한 방법으로 불소를 사용하는 것이 가장 효과적이며 안전한지를 검증해야 한다고 주장한다. 이제까지 불소가 치아우식증을 예방하는 가장 큰 이유는 치아가 나기 전에 불소를 섭취하여 치아가 생성되는 과정 중에 불소가 포함된 안정한 결정체가 만들어지지 때문인 것으로 믿어왔으나, 최근의 연구 결과는 치아가 난 후에 불소가 치아면과 접촉하여 미세하게 손상된 치아면을 회복시켜 주는 것이 가장 중요한 불소의 충치 예방효과라고 밝히고 있다. 따라서, 불소와 치아와의 접촉시간이 길수록 불소의 충치 예방효과는 증가될 것이며, 불소양치액이나 불소치약의 사용과 같이 국소적인 불소의 사용과 수돗물에 불소를 첨가하는 전신적인 불소의 사용에 의한 충치 예방효과 및 안전성을 비교하여 우리 나라 국민들을 대상으로 보다 효과적인 불소의 사용법을 제시해야 할 것이다. 특히 이러한 연구에 수돗물 불소화를 주관하는 기관만이 참여해 온 이제까지의 연구와는 달리 여러 기관이 참여함으로써 연구자의 무의식적인 편견을 배제한 더욱 공정한 검증을 하여야 할 것이다. 한편 우리는 불소의 사용만이 충치를 예방하는 유일한 방법이 아니며 설탕의 소비를 줄이고 개인의 구강위생을 철저히 하는 것 또한 충치를 예방하는 좋은 방법임을 명심하여야 할 것이다.

불소의 독성

수돗물 불소화를 주장하는 이들은 미래의 부작용은 단언할 수 없으나, 현재까지는 수돗물 불소화의 유해성을 주장하는 어떠한 보고도 없다고 한다. 즉, 수돗물 불소화가 건강을 해치거나 수돗물의 수질에 악영향을 미칠 가능성은 없다고 주장한다. 또한 불소는 지구표면을 구성하는 물질 중에서 13번째로 많은 원소이며, 우리가 사용하는 불소는 원래 자연에서 얻어서 사용하는 것이므로 수돗물 불소화 사업이 환경에 나쁜 영향을 주지 않는 것은 자명하다고 말한다. 그러므로, 수돗물 불소화를 반대하는 동기는 개인적인 명리와 사회적 관심을 유도하기 위한 것일 뿐 과학적 진리와는 거리가 멀다고 주장한다.

그러나, 수돗물 불소화를 반대하는 가장 중요한 이유는 바로 건강 및 환경위해성에 대하여 우려하기 때문이며, 이러한 주제에 대하여 많은 연구논문이 발표되어 있다. 수돗물 불소화와 관련된 가장 명백한 불소의 독성으로는 반점치를 들 수 있는데 심미적으로 좋지 않을 뿐만 아니라 심한 경우 치아가 부서지거나 마모되기 쉽고 충치 발생 빈도는 오히려 증가하게 되며 결국 치아를 잃게 될 수도 있다. 반점치는 흔히 미용상의 문제로 간과되고 있으나, 특히 외모에 많이 신경을 쓰는 성장기 어린이의 경우 정신적인 스트레스로 작용할 수 있으며, 불소에 의한 독성이 나타나는 전조로서 받아들여야 할 것이다. 영국에서는 반점치를 가지고 있는 어린이의 부모들이 수돗물에 불소를 첨가한 정부를 상대로 집단소송을 제기하고 있으며, 미국에서는 수돗물 불소화가 시행 중인 곳과 그렇지 않은 곳 모두에서 반점치의 발현이 현저하게 증가되고 있다는 우려도 있다. 한편 중국에서 보고된 연구결과에서는 반점치가 심한 어린이의 지능지수가 그렇지 않은 어린이의 경우보다 현저하게 저하되었으며, 낮은 농도의 불소 혹은 불화알루미늄으로 인한 지능지수저하나 학습능력저하와 같은 중추신경계 독성이 동물실험에서도 보고되었다. 즉, 불화나트륨과 불화알루미늄이 뇌에 미치는 영향을 발표한 두 논문을 살펴보면, 1997년 *Annals of the New York Academy of Sciences* 라는 외국 학회지에 실린 Isaacson 등의 논문에서는 0.5, 5, 50ppm 알루미늄과 1ppm의 불소를 먹는 물에 첨가한 후 쥐에서 45주간 먹었을 때, 다른 대조군과는 달리 0.5ppm 알루미늄과 1ppm 불소를 먹는 물에 첨가한 쥐가 건강상태가 가장 나빴으며(털이 적었고 피부는 변색되었으며, 이와 발톱이 검정 색이었음) 실험기간이 끝나기도 전에 가장 많이 죽었는데, 이러한 쥐의 뇌중 알루미늄 농도는 증류수만을 먹인 대조군의 경우에 비하여 2배로 증가하였으며, 신경의 변형도 심하다고 보고하고 있다. 이듬해인 1998년 *Brain Research*에 실린 Varner 등의 논문에서도 0.5ppm 알루미늄과 1ppm의 불소를 함께 첨가한 증류수, 2.1ppm NaF(1ppm의 불소에 상당함)를 첨가한 증류수를 쥐에 52주간 먹었을 때, 뇌와 신장에 축적된 알루미늄의 양은 증류수만을 먹인 대조군에 비하여 증가하였으며, 불소화합물의 투여에 의하여 뇌혈관과 신경세포의 변형이 관찰되었으며, 불화알루미늄(AlF_3)을 첨가한 경우 불화나트륨(NaF)에 비하여 더 큰 변형을 초래한다고 보고하였다. 이밖에도 알레르기, 각종 암(골육종, 자궁암, 간암, 구강암), 혈중 납 농도 증가, 대퇴골 경부골절의 증가, 면역기능 저하 등 수돗물 불소화와 연관이 있다고 우려되는 건강위해성은 매우 다양하다. 특히 불소는 체내에 흡수되면 약 50%만이 뇨로 배설되고 나머지 불소의 대부분은 뼈와 치아에 축적되므로 아무리 저농도의 불소라 하더라도 노출기간과 비례하여 체내에 축적된다. 한편 최근의 연구는 불소가 임신부에서 태아로 이행되며, 태아의 뇌에 불소가 축적된다고 보고되었으므로, 수돗물 불소화에 따른 최근에 대두되고 있는 불소의 중추신경계 독성에 대한 검증이 반드시 필요하다.

환경 위해성은 건강 위해성보다 극히 짧은 역사를 가지고 있고, 수행된 연구결과도 부족하므로 수돗물 불소화가 환경에 미치는 위해성에 대하여는 더 많은 국내의 연구가 필요하겠지만, 불소가 자연계에 다량 존재하므로 수돗물에 미량의 불소를 첨가하여도

환경 생태계에 미치는 위해는 없다는 추측은 옳지 않다. 이는 환경 중의 불소의 대부분은 암석인데, 암석 중의 불소는 불용성으로 생태계에 큰 영향을 미치지 못하는 반면에 수돗물 불소화에 인위적으로 첨가되는 불화나트륨 및 불화규산 중의 불소는 거의 100% 용해되어 생태계에 영향을 미칠 수 있기 때문이다.

일반적으로 상수돗물 중의 불소(1ppm)는 알루미늄과 불화물을 가장 잘 형성하며, 수중의 알루미늄 농도가 증가함에 따라 F-Al 복합체가 형성되는 비율도 비례하여 증가한다. 수중의 알루미늄 농도는 높지 않으나, 알루미늄 화합물(Alum, PAC)이 응집제로 사용된 경우는 수도수 중의 알루미늄 농도가 증가하며, 용기로부터의 알루미늄 용출도 보고되고 있다. Tennakone 등은 불소농도를 1ppm으로 조정한 중성의 물을 알루미늄 용기에 넣고 가열하면 수중의 알루미늄 농도가 증가한다고 보고한 바 있다. 알루미늄 주방 용기는 스테인레스 스틸 재질의 용기보다 값이 저렴하므로 저소득 가계에서 많이 사용되고 있으나, 국내에서는 이러한 연구가 수행된 적이 없으므로, 국내에서 유통되고 있는 주방용기의 종류에 따라서 용출되는 알루미늄의 양은 밝혀져 있지 않다. 따라서, 본 실험에서는 1ppm의 불소가 함유된 3차 증류수와 불소가 함유되지 않은 3차 증류수를 알루미늄 용기에 넣고 가열한 후 용출되는 알루미늄 농도를 측정하였다. 표1에서 알 수 있는 바와 같이 불소첨가에 의해 용기로부터 알루미늄의 용출이 증가하는 것을 알 수 있었으며, 이러한 알루미늄의 용출은 표2와 같이 실험도중 첨가된 산이나 시약으로부터 유래된 것이 아님을 알 수 있었다.

표 1. 용기의 조건에 따른 알루미늄 용출 농도

	시간	pH	알루미늄농도(ppm)- 불소 미첨가	알루미늄농도(ppm)- 불소 첨가
노란색 냄비	15분	pH7	0.018	0.035
		pH3.5	0.408	0.614
	30분	pH7	0.026	0.066
		pH3.5	0.932	1.88
곰보냄비	30분	pH7	0.018	0.074
		pH3.5	0.944	1.96

표 2. 가열하지 않고 10분 방치시 알루미늄 용출 농도

	pH7 불소 첨가	pH7 불소 미첨가	pH3.5 불소 첨가	pH3.5 불소 미첨가
알루미늄 농도(ppm)	0.000	0.000	0.000	0.000

불소는 유효농도와 독성농도의 차이가 극히 적은 특이한 원소로 알려져 있으므로, 수돗물 불소화 사업으로 충치 예방효과를 달성하기 위하여는 체내의 불소 농도를 일정하게 유지할 필요가 있다. 그러나 개개인의 물섭취량이 다른 것은 물론 조리과정에서 가열에 의해 불소가 농축되고, 알루미늄이나 칼슘, 마그네슘과 같이 공존하는 금속에 의하여 불소의 흡수 정도는 현저하게 낮아진 반면, 신장기능이 떨어진 환자나 노인은 불소의 배설이 저하되어 체내 불소량이 증가한다고 알려져 있다. 더욱이, 불소는 수돗물에만 존재하는 것이 아니라, 많은 식품, 치과용품 및 대기 중에서도 존재하는데, 우리나라의 경우 불소 연구는 극히 드물어서 한국민의 불소 노출량도 산정할 수 없는 실정이다. 이러한 불소 노출량 평가를 위하여 우리나라 국민들이 선호하는 감잎차, 두충차, 등글레차, 설록차, 홍차의 teabag을 끓는 물 100ml에 1분 30초간 담근 후 시료로 사용하였으며 각종 sports 음료와 과일주스 중의 불소농도도 측정하였다. 차종의 불소농도 측정은 Dionex사의 Ion-chromatography를 이용하였으며 결과는 다음의 표3, 표4, 표5와 같다.

표 3. 각종 차에 함유된 불소 농도

	감잎차	두충차	등글레차	설록차	홍차
농도 (mg/g)	0.42	0.615	0.15	0.583	0.679

표 4. 각종 sports 음료에 포함된 불소농도

	게토레이	내버스탑	에너지트	파워에이드	포카리스웨트
ppm	0.29	0.1	0.21	0.15	0.11

표 5. 각종 과일 주스에 포함된 불소농도

	우리 포도주스	이브 포도주스	하이-C 오렌지 주스	Family 오렌지주스
ppm	0.15	0.22	0.16	0.32

위의 결과를 볼 때 예상했던 바와 같이 차 중의 불소농도는 상당히 높게 검출되었으며, 우리나라 국민들이 즐겨 찾는 차를 통해 많은 양의 불소를 섭취하고 있음을 알 수 있었다. 또한 sports 음료 중에서는 게토레이가, 과일 주스 중에서는 Family 오렌지 주스가 각각 0.29ppm, 0.32ppm으로 가장 높게 측정되었다.

수돗물 불소화 사업이 처음 시작되었던 1940년대에는 분석기술이 발달되어 있지 않아 반점치 유발정도만을 가지고 적정 불소량을 산정 하였다. 그러나 현대에 와서는 다양한 분석기술이 개발되었고, 이에 따른 불소 노출량의 산정이 가능하게 되었다. 따라서 불소화 사업을 시행하기에 앞서 이와 같은 인위적인 불소 공급이 필요한지, 필요하다면 얼마만큼 필요한지에 대한 연구가 반드시 선행되어야 할 것이다.