

상수도수 불화사업 운영에 관한 평가분석

Estimate Analysis on the Fluoride Work Management of Water Supply Conveyance

김갑진* · 이양규

Kim, Kap-Jin* · Lee, Yang-Kyoo

대림대학 토목공학과

(2003년 4월 10일 접수, 2003년 7월 11일 최종수정논문 채택)

Abstract

The fluoride work management of water supply conveyance has been recommending by the WHO to prevent of tooth decay. Fluoridation of public water supplies has been practiced since 1945. The present approximately 67 countries reported community water fluoridation benefiting many cities. At our country, Fluoridation began in 1981 in Chongju and Jinhea. In 2002, approximately 40 cities have large populations consuming fluoridated water. But Chongju stopped fluoridation water works. Few public health measures have been accorded greater clinical and laboratory research, epidemiological study, clinical trials, and public attention than has water fluoridation.

In this study, chemical analysis of Sodium Silicofluoride and Fluoride Feed Equipment analyzed. And this study proposed to Fluoride concentration experimental (lab. and field exp.), economics analysis, prevention effect. This study can be decided on the concentration of fluoride injection in Water Fluoridation. Hereafter, this study will be useful in safety and economics of Water Fluoridation in the future.

Key words: fluoridation, fluoride concentration, tooth decay, Sodium Silicofluoride

주제어: 불화사업, 불소농도, 치아 우식증, 불화규산

1. 서론

수돗물의 불화사업이란 여러 선진국은 치아우식증(齒牙齶蝕症, tooth decay)을 예방하기 위하여 수돗물의 불소농도를 적당한 수준으로 상향조정하여 수돗물에 불소를 첨가하여 공중보건사업을 시행하는 것

이다.

수돗물 불소투입으로 새로 생기는 치아우식증을 어느 정도 예방할 수 있으며, 어린아이는 물론 성인과 노인에서도 효과가 있다고 보고하고 있다. 이러한 상수도수 불화사업은 세계 보건기구(WHO)에서도 우식 예방사업으로 권장하고 있다. 1945년 미국에서 처

*Corresponding author Tel: +82-31-467-4917, Fax: +82-31-467-4917, E-mail: civilwater@hanmail.co.kr (Kim, K.J.)

음으로 시작된 후 현재 캐나다, 호주, 뉴질랜드, 싱가포르, 브라질, 홍콩 등 약 67여 개국의 여러 도시에서 실시되고 있다(Cook-Mozaffari, P & Doll, R, 1981). 국내에서도 1981년부터 청주와 진해시, 1994년 과천시로 시작하여 우리나라 전역에 약 40개 정수장에서 실시하고 있다(김중배, 1991; 이양규, 1996). 그러나 2002년 11월 현재 청주시 불화사업은 전면 중단되었다.

산업화, 공업화, 도시화 이후 소득수준의 향상에 따른 소비비만, 충치발생 등이 사회문제화 되면서 삶의 질에도 국민적 관심이 매우 고조되고 있어 상수도수 불화사업은 신중을 기해야 하며, 현 단계에서 충분한 연구 검토후에 각 지방 현실에 맞게 계획하여야 한다고 사료된다.

본 연구에서는 실제 불소를 투입시키고 있는 정수장을 대상으로 하여 불화규산 성분검사, 불소투입 선정, 불소함유량 조사, 농축실험 등을 시행함으로써 불소의 안정성, 경제성 및 예방효과 등을 평가하여 제시함으로써 앞으로 상수도수 불화사업을 원화는 경우 적절한 불소투입 농도를 결정할 수 있으며, 불화사업의 안정성 및 경제성의 효과를 판단하는데 활용자료로 이용할 수 있다.

2. 이론적 고찰

2.1. 상수도 불화사업의 정의

불소는 자연계에서 13번째 많은 원소로서 토양, 동·식물 그리고 물에서도 존재하는 물질이다.

불소는 자연계에서 복합된 형태로 존재하며, 세계 어느 곳에서나 볼 수 있고, 바위나 토양에 무기질의 한 성분으로 존재한다. 또한 불화물은 평상시에 먹는 음식물 및 차(茶)속 그리고 숨쉬는 공기 중에도 존재한다. 그러므로 일상생활에서 부족한 불소를 섭취하기 위해 음용수에 불소투입은 새로운 것이 아니라 사실상 자연스럽게 발생하는 과정이라고 볼 수 있다.

그러나 최근 발표된 논문에 의하면 우리나라의 지표수에서도 0.1-0.4mg/l로 나타나고 있으며, 전국 지역의 지하수의 평균 불소농도는 약 1.203-2.425mg/l로 나타내고 있고(김갑진 · 이양규, 2001), 해수 중에서도 불소가 약 1.4mg/l 정도이다(Bundock, J.B. et al., 1982).

전국 지하수의 평균 불소농도는 약 1.203-2.425

mg/l로 측정되었다. 강원도 양양의 경우 9.80mg/l, 충남 공주 8.2mg/l, 경기도 평택 3.04mg/l로 나타나고 있다. 그러므로 현재 국내의 상수도수 수질기준의 불소허용 농도 1.5mg/l의 수배가 되므로 불소 제거사업을 실시하여 음용으로 사용하여야 한다(김갑진 · 이양규, 2001).

2.2. 불소화의 영향

불소가 함유된 물을 마실 때, 미량(20%)이 입안에서 유체에 의해 보유되며, 표면섭취(表面攝取)에 의해 치아(齒牙)에 섞어진다. 더 많은 양(80%)이 위로 들어가 위와 장의 벽을 통한 섭취에 의해 신속히 흡수된다. 이것은 혈장(血漿)으로 들어가 치아를 포함한 신체전역에 신속히 분배된다.

이러한 방법으로 분배되면 불소이온은 신체구조의 모든 골격구조에 이용되며, 나이를 먹고 섭취량(攝取量)이 증가하는 양에 있어 보유되고 축적된다. 불소의 80%가 신체전역에 분배되지만 소량의 불소만이 뼈와 치아에 축적되고 나머지는 신장을 통해 배설된다. 뼈와 치아 그리고 골격의 다른 부분들은 불소를 끌어들이고 보유한다.

또한 많은 물질들은 작은 양이 생체에 흡수되었을 때 생명을 위해 필수적이거나 거의 알아차릴 수 없는 기능이나 조직변화를 일으키지만, 다량인 경우 중독(中毒)의 심한 증상(toxic effects)을 일으킨다.

다량을 불소를 투입한 후 특징적인 형태의 반응을 볼 수 있는데 특정한 기관과 조직에 선택적으로 나타난다. 그리고 소량을 투입할 때, 구조에 있어서의 이상이나 정상의 생리적 기능에 있어서의 이상을 발견하기 위한 방법을 이용하여 이들 조직에 주의를 기울일 수 있다. 따라서 이런 관점에서 불소의 효과들을 임상적으로나 경험적으로 판단해 왔다. 계통과 기관의 각각의 표준을 정량적으로 정하였고, 서로 다른 조직에 대해서는 중독의 증상을 일으키지 않는 범위에서 최대 투여량을 결정한다. 이렇게 볼 때 이를 비교하기 위한 최저한계(base-line)가 항상 치아우식증을 예방하기 위한 최적농도(最適濃度)이다.

2.2.1. 치아에 미치는 영향

치아는 골격의 일부분으로 치아에서의 불소부착은 근본적으로 다른 뼈에서와 유사하다. 이는 유소년기

Table 1. 세계각국의 우식(충치)경험 연구치수

국 가	조사년도	우식경험연구치수
가 나	89	0.4
노르웨이	88	2.7
뉴질랜드	89	2.4
대 만	89	1.5
덴마크	88	1.6
미 국	87	1.8
스위스	88	2.4
싱가폴	84	2.5
영 국	83	3.1
호 주	88	2.0
중 국	84	0.7
프랑스	90	3.0
필리핀	82	2.2
홍 콩	86	1.5
한 국	1999-2001	4.2

Table 2. 음용수 기준의 불소허용농도

나 라	불소허용농도(mg/l)
한 국	1.5 이하
미 국	1.4-2.4
일 본	1.8 이하
독 일	1.5 이하
벨기에	1.5 이하
스페인	1.5 이하
프랑스	1.5 이하
EEC	0.7-1.5
WHO	1.5 이하

의 골격 및 치아 성장기간에 가장 빠르다. 이 시기는 대략 임신 4개월에서 10살이 될 때까지 계속되며, 8살이 되면 치아에 불소흡착이 최대가 되는 것으로 나타난다. 또한 잇몸을 뚫고 나온 치아는 뿌리와 상치질(象牙質, 치아 안쪽부분)을 제외하고 이미 형성된 골격의 다른 부분과 다르다.

이들이 형성된 후에 치아의 불소농도는 큰 변화가 없기 때문에 대개 아이들이 학교에 다니기 이전인 영구치아의 초기성장기간 동안에 불소가 첨가된 물의 적당량을 마시는 것이 매우 중요하다.

세계 각국의 우식(蟲齒)경험 연구치수는 Table 1과 같이 나타나는데 이것은 선진국에서는 우식경험 연구치가 감소 및 불화사업이 성공되고 있는 반면, 최근 국내 대상정수장에서 3년간 조사한 평균치 결과를 살펴보면 수치적으로도 외국에 비해 충치 개수가 높게 나타나고 있다.

2.2.2. 수질에 미치는 영향

음용수 수질기준에서 결정한 내용은 생물학적, 화학적 및 물리적 기준으로 구분할 수 있으며, 목적으로는 수인성 전염병의 전파방지, 장·단기적인 인체의 건강보호, 불쾌감을 주지 않는 수질의 유지 등을 말할 수 있다. 그러나 불소물의 주입으로 나타날 수 있는 수질의 변화는 화학적 및 물리적 변화이고, 생물학적 변화는 전혀 예상되지 않으므로 대부분 제외되고 있다.

화학적 기준의 주된 내용은 인체의 건강에 유독 유해한 물질에 관한 허용농도규정으로 약 10여 가지 대상으로 하고 있다. 즉 화학적 기준에서 상수도불화와 직접관련이 있는 항목은 불소농도로서 1.5mg/l 이상을 넘지 않도록 규정하고 있다. 불소에 관한 규정은 세계 각국의 음용수 수질기준에 포함되어 있으며, 그 내용은 Table 2와 같다(김진범·김종배, 1994; 환경부, 2000).

2.3. 불소화합물

불소분자는 결합력이 매우 강하여 자연상태에서는 독립적으로 존재하지 않는다. 불소분자의 산화력은 상수도수의 소독에 이용되는 염소보다 2배나 강하다 따라서 용액 속의 불소이온을 불소분자로 변화시킬 수 있는 화학적 방법은 없다.

자연계에서 불소는 단지 다른 성분과의 결합된 불화물로서 존재한다. 따라서 정수장에서 불소자체만을 투입할 수 없고, 불소가 다른 물질과 결합되어 있는 불화물(弗素化合物)의 형태로 투입된다.

물에 포함된 불소는 원래 불소화합물이 무엇이든 상관없이 전부 불소이온(F⁻)으로 존재한다. 불소이온과 반응하는 양이온이 아무런 해가 없다면 상수도 불화목적으로 사용하는 데는 아무런 문제가 없다.

불화물의 값은 상수도수 불화사업의 총비용 중에서 약 80% 이상을 차지하고 있기 때문에 가격을 낮추는 것은 사업비용을 절감하는데 있어서 가장 중요한 일이다.

이론적으로 수중에서 불소이온을 형성하는 화합물은 공급수의 불화물량을 증가시키는데 이용될 수 있다. 그러나 상수도수 불화용으로 사용할 화합물을 선

Table 3. 불화물의 물리적 성질

구 분	불화나트륨(NaF)	불화규소나트륨(Na ₂ SiF ₆)	불화규산(H ₂ SiF ₆)
형태	고체(백색분말)	고체(백색분말)	액체(무색투명)
분자량	42	188	144
비중	2.79	2.68	1.2
용해도(25°C 기준)	4.0g/100ml	0.76g/100ml	-
순수약품중 함량	45.2%	60.6%	79.1%
약품순도	98.0%	98.0%	22.0%
약품중 함량	44.3%	59.4%	17.4%
국내생산 여부	가능	불가	가능
국내생산 능력	1,000톤/년	-	15,000톤/년
가격	고가	적당	저렴

택할 때는 몇 가지 실질적인 사항이 고려되어야 한다. 첫 번째 일상적인 수처리 시설가동에서 그 화합물을 사용할 수 있도록 충분히 용해되어야 하며, 두 번째 불소이온이 붙어있는 양이온은 유해한 특성을 가지고 있지 않아야 하고, 세 번째 이 물질은 비교적 저렴하여야 한다.

목적하는 용도에 적합한 순도(純度)와 크기의 등급에 따라 쉽게 이용할 수 있어야 한다. 이러한 점에서 현재 가장 일반적으로 이용되는 불소화합물은 분말형태인 불화소다(sodium fluoride, NaF)나 불소규산소다(sodium silicofluoride, Na₂SiF₆)와 액체형태인 불화규소(hydrofluosilicic acid, H₂SiF₆)이다. 또 불화칼슘(CaF), 불화규소 마그네슘(MgSiF₆ · 6H₂O), 불화규소암모늄((NH₄)₂SiF₆), 불화칼륨(KF · 2H₂O) 등이 있다. 그 중 대표적인 불화물의 물리적 특징을 제시하면 Table 3과 같다(ADA, 1995).

불소의 과잉섭취시 나타날 수 있는 반상치(斑傷齒)의 위험성을 고려하여 각 나라에서는 다소 차이가 있으나 허용농도를 1.5mg/l 수준으로 규제하고 있다. 미국의 경우는 수온에 따라 불소의 허용농도를 다르게 정하고 있다.

불화나트륨은 간단한 장치인 용해탱크로도 투입할 수 있는 장점을 가지고 있지만 가격이 비교적 고가여서 세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 것은 불소규소나트륨이다. 불소규소나트륨은 불소나트륨의 가격에 비하여 3분의 1 정도로 저렴하며, 톤당 가격도 불화나트륨의 13% 수준이다. 불화규산은 액체이므로 불화물을 용해하는 기본적인 설비만 있으면 수돗물 송수관에 일정한 비율로 투입가능 하다. 불화나트륨 중의 불소함유량은 45.3%이지만 불소규산 중의

Table 4. 불화규산 성분분석

구분	성분	기준	결과
화학적 규제사항	불화규산 함량	20-30%	25%
불순물 규제 사항	납	0.02% 이하	불검출
	수은	0.02% 이하	불검출
	구리	0.02% 이하	0.0004%
	비스무스	0.02% 이하	불검출
	불산	1% 이하	0.2%

불소함량은 72.9%이다. 그러나 불화규산은 액체로서 20-35%만 불화규산 자체이고 나머지는 물이다. 액체로 된 불화규산 총중량의 18.2% 정도만 불소이온이다. 따라서 중량으로 계산하면 액체 불화규산을 투입할 경우 불화나트륨 사용량의 2.5배를 투입하면 된다. 액체 불화규산의 톤당 가격이 분말형태인 불화나트륨의 13% 정도인 것을 감안하면 실제 불화나트륨을 투입할 때 보다 불화규산을 투입하면 약품비용이 32.5% 정도 밖에 들지 않는다.

2.4. 불화규산 성분분석

대상정수장의 불화규산은 자연석(인공석)에서 불소성분을 석출하여 만든 것이며, 불소화합물은 수질 환경보전법에서 규정한 특정수질유해물질 및 폐기관리법에서 규정한 지정폐기물 등 산업폐기물에는 해당되지 않는다. 특히 화학적 규제사항(함량, 불화규산 중량, 불소이온함량)과 불순물규제사항(납, 수은, 구리, 비스무스, 불산 등)을 전문기관에 의뢰하여 분석한 결과는 Table 4와 같다.

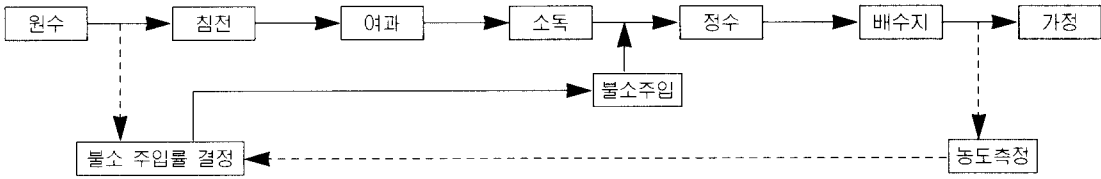


Fig. 1. 정수처리 불소투입 지점 선정 흐름도.

2.5. 불소투입 지점 선정

불소화 과정은 원수로부터 불소주입율을 결정하고 정수에 투입한 후, 수공급시스템을 통하여 공급된다. 따라서 상수도 관리공정의 자동화 및 계측제어 시스템방식의 도입을 통하여 비효율적인 기존의 인위적 관리방식을 탈피하고 제한된 용수자원을 최대한으로 활용하여 능률적인 상수원 공급체계를 확립할 수 있다 (이양규·김갑진, 1996).

본 대상지역은 불소를 투입하기 위하여 정확하고 안정된 투입장치가 필요하다. 일반적으로 불화사업이 실시되고 있는 정수장의 흐름도를 나타내면 Fig. 1 과 같다.

2.5.1. 투입장치

공중관급수에 불소를 첨가하는 것은 상수도에서 많이 사용되고 있는 일상적인 기계적 방법들과 유사하다.

불화물 투입기의 종류와 비교는 Fig. 2와 Table 5에 나타내었다. 불화물 투입기는 사용하는 불화물에 따라 선택이 달라진다. 불화나트륨을 투입할 때는 분말계량 투입기 또는 용해조가 부착된 용량계량 투입기를 사용하고 불화규소나트륨을 투입할 때는 분말계량 투입기를 주로 사용하고 불화규산을 투입할 때에도 투입기 및 자동제어장치를 갖추어야 한다.

용량계량 투입기는 분말계량 투입기에 비하여 저렴하나 고가인 불화나트륨을 사용할 경우에만 사용할 수 있다.

대규모 정수장에서 불화규소소다를 투입하여 상수도수를 불화하고자 할 때는 불화물분말투입기를 이용하는 불화물분말 투입기를 채택하여야 한다. 불화물분말 투입기는 단위시간당 계량된 불화물을 상수도에 투입하는 방식으로 불화물 분말투입기는 크게 나누어 용적불화물 분말투입기와 중량불화물 투입기로 대별된다.

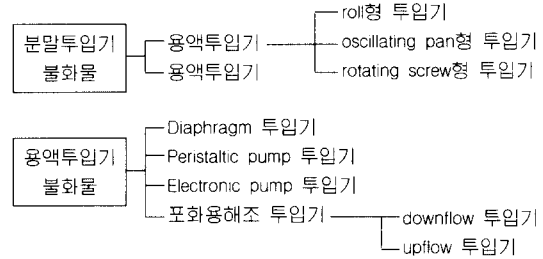


Fig. 2. 불화물 투입기의 종류.

Table 5. 불소 투입기의 비교.

구 분	분말투입기	용액투입기
투입 방법	단위시간당 일정부피나 중량을 수돗물에 투입	일정농도로 용해된 불소 용액을 펌프를 이용하여 수돗물에 투입
현재 설치장소	청주지북 정수장 외 다수	과천·의왕시 정수장 외 다수
종 류	용적분말 투입기, 중량분말 투입기	포화용해조 투입기
용이점	대규모 정수장에 유리, 제작용이	소규모 정수장에 유리

2.5.2. 불화물 투입기의 선택의 유의점

불소의 투여는 정밀하게 조절되어야 한다. 화학적 투여장비는 투여하는 순간 물의 흐름의 비교에 대해 불소량이 조절되도록 설계되어야 하며, 정해진 mg/l에서 이상이나 이하가 되지 않도록 유지되어야 한다. 투여기가 오동작을 하는 경우 불소가 과량으로 투여되지 않도록 하는 안전장치도 갖추어야 한다.

이외에도 불화물 투입기를 선택할 때 유의해야 할 점에서 살펴보면 첫 번째는 어떤 불화물을 사용할 것인가가 가장 중요하다. 일반적으로 대규모 정수장에서는 상수도수 불화사업비용의 대부분을 불화물 구입비용이 차지하므로 가능한 한 저렴한 가격으로 구

입할 수 있는 불화물을 사용할 수 있도록 하는 장치를 선택하여야 한다(이양규 외 3인, 1996).

3. 불소실험 방법

본 연구는 상수도 불화사업을 실시하고 있는 수도권의 한 정수장을 선정하여 2001년 09월부터 2002년 08월(1년)까지 분석하였다. 불소실험으로서는 불소 함유량 측정실험과 실내실험은 정수된 수돗물을 사용하였고, 현장실험은 대상정수장에서 수돗물을 채수하여 각각 농축실험을 실시하였다.

3.1. 실험원리

3.3.1. 저농도측정(Known Standard)

약 1mg/l 이하의 시료에서는 농도에 상응하는 이온전극의 전위값(mV)이 비선형 값을 나타내며, 시료의 정밀한 분석을 하기 위해서는 표준시약을 사용하여 기준농도를 포함한 1mg/l 범위내의 7개 지점에서 이온전극 전위 값을 마이컴에 입력하여 검량곡선을 수학적으로 환산 설정한다. 그리고 동 검량곡선의 상관계수(R²)은 0.999 이상이다.

3.3.2. 고농도 측정(Standard Addition)

고농도 시료에서는 농도에 상응한 전위 값(mV)이 선형 값을 나타내므로 매 측정시 마다 별도의 표준화 작업이 생략된다. 이때 정확한 측정값을 얻기 위해서는 농도 값이 약 2배로 증가되도록 표준액을 첨가하고, 농도값 증가율(Standard Addition Factor)은 최대

9이다.

불소농도 환산공식은 다음과 같다.

$$Cx = Cs \times \frac{Vs}{(Vx + Vs)10^{(E_2 - E_1)/S} - V_x}$$

여기서, Cs: 표준액 농도, Cx: 시료의 농도

Vs: 표준액량, Vx: 시료의 량

E₂: 표준액 첨가후 이온전극 전위의 값(mV)

E₁: 이온전극의 기울기(slope)

4. 불소의 평가 분석

4.1. 정수생산능력 산정

대상정수장의 경우 월평균정수생산능력은 약 574,726톤 정도이다. 불소농도 투입이 생산량에 따라서 정확히 투입되어야 하며, 월평균생산량을 나타내면 Fig. 3과 같다.

4.2. 불소함유량 분석

불소함유량을 측정하기 위하여 1일 4회씩 시행한 결과 최소농도와 최대농도를 측정하였다. 이 대상지역은 불소농도 0.8mg/l을 투입시키고 있는 결과는 다음과 같다(Fig. 4 참조).

계절별로 살펴보면 봄의 경우 최소·최대농도 평균은 0.719-0.737mg/l, 여름의 평균 최소·최대농도 각각 약 0.657-0.674mg/l, 가을의 평균 최소·최대농도 각각 약 0.622-0.646mg/l, 겨울의 평균 최소·최대농도 각각 약 0.701-0.721mg/l으로 나타내고 있다.

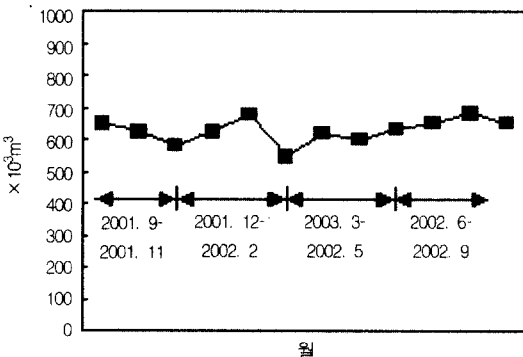


Fig. 3. 월평균생산능력 산정.

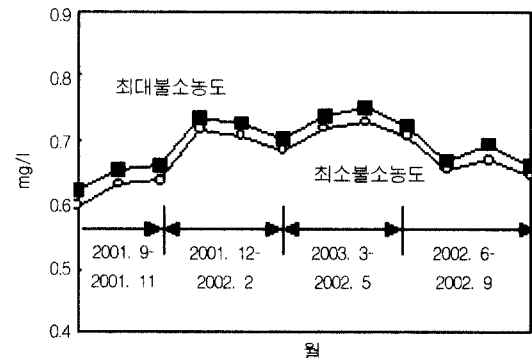


Fig. 4. 불소함유량 수질검사 결과.

Table 6. 현장 불소시험 측정결과

구분 가열시간	수돗물 측정농도	농도증가	결과
0	0.7mg/l	수돗물	0.76
1	0.79mg/l	+0.03	0.82
2	0.91mg/l	+0.15	1.06
3	0.95mg/l	+0.19	1.14
4	0.98mg/l	+0.22	1.20

대상정수장의 수온을 조사하여 보면 봄철의 평균 수온은 약 11°C, 여름철의 평균수온 약 25°C, 가을철의 평균 수온 약 17°C, 겨울철의 평균 수온 약 5°C 정도로서 여름철과 겨울철의 수온차이는 약 20°C 이상으로 조사되었다.

첫 번째 전반적으로 여름의 불소농도보다 겨울 및 초봄에 불소농도가 높은 수치를 나타내었다. 이 원인은 계절적인 수질변화라고 사료된다. 두 번째 하절기에는 수온이 약 25°C 정도로 불소가 다른 계절보다 잘 용해되었지만 동절기에는 수온이 약 5°C 전후로서 잘 용해되지 않았다.

대상정수장에서는 수돗물을 채수하여 실험한 값이 0.76mg/l로 측정되었다. 이 불화된 수돗물에 일정한 음식물을 투입하여 1시간, 2시간, 3시간, 4시간을 가열하여 시간대별로 불소농도 값을 측정하여 Table 6에 제시하였다.

또한 구강으로 섭취된 불소의 약 75-90%는 소화기 계통으로 통해 흡수되고, 일반적으로 청·장년의 경우 매일 흡수된 불소의 약 50%는 24시간 이내에 석회질 조직으로 흡수되고 나머지 50%는 대소변으로 배설된다. 따라서 불소투입 0.8mg/l을 하고 있는 이 지역의 경우 1일 음용과 음식물에서 섭취량이 3l/day로 본다면 하루 불소섭취량은 2.4mg으로 나타나고 있다. 그러나 대소변으로 통하여 약 60% 정도가 배설된다.

4.3. 불소사업 경제성 분석

대상정수장의 불화사업을 위해 소요되는 사업비를 살펴보면 장비는 대부분 내구연한이 5년으로 계산하고 있다. 또한 감가상각비는 구입가격에 잔존가격을 10% 감한 것을 내구연수로 나누어 계산된다. 그러나 불소 투입기구는 잔존가격이 "0"이므로 잔존가치는 없는 것으로 계산하였다. 그리고 불화사업 기계장치

Table 7. 대상 정수장의 운영사업비(단위: 천원)

구분	사업비	국비	시비	비고
불소투입기		40,000	110,000	
불소측정기 및 자동제어장치		-	50,000	
연간약품비		54,300	27,114	
계		94,300	187,114	283,414

$$\begin{aligned} \text{감가상각비} &= \frac{\text{기계구입비}}{5\text{년}} = \frac{200,000,000}{5\text{년}} \\ &= 40,000,000\text{원/년} = 3,333,333\text{원/월} \end{aligned}$$

의 내구연수를 일반적으로 정액법을 이용하여 감가상각비를 구하고, 운영사업비를 나타내면 Table 7과 같다.

한편 연간 약품소요비용을 계산하여 보면 대상 정수장의 1일 평균정수생산량은 약 19,157톤이며, 불화규산 단가는 300원/kg이고, 불화규산 총사용량은 2,100kg 정도이다. 그러므로 2,100kg × 300원/kg + 19,157톤 × 33원/톤이고, 이 지역의 급수인구는 약 80,000명이다.

대상 운영사업비는 불소투입기 1억 5,000만 원, 불소 자동제어장치 5,000만 원으로 감가상각해야 할 금액은 2억 원이다. 이 장비는 5년으로 감가상각하면 월 3백 30만 원이므로 연간약품구입비가 약 8천 100만 원으로 월평균 6백 70만 원이다. 월감가상각비와 월약품비를 합산하면 월 1천만 원가 소요되고 있다. 이 액수를 이 지역의 급수인구로 나누면 1인당 월평균 불소 부담금은 약 136원 정도로 나타나고 있다. 그러나 이 지역의 1일 평균급수량은 320l/day이므로 실제 1일 음용과 음식물을 위하여 사용되는 양은 극히 적으므로 불소 부담금은 많은 것으로 나타날 것이다.

4.4. 예방효과 평가

대상정수장의 수돗물을 마시고 있는 이 지역의 6세와 12세 아이에 대해 예방효과 평가를 3차년에 걸쳐 실시한 결과는 다음과 같다. 그리고 수돗물 불화사업에 의한 유치의 충치예방율은 8세 연령층에서 20%, 영구치 충치예방율은 31%, 11세 연령층에서 28%, 14세 연령층에서 35%, 이것은 8-14세 사이에서 약 31%의 충치예방 효과는 Table 8과 같다.

경상남도 진해시에서 수돗물에 불소를 투입을 실

Table 8. 6세, 12세의 치아 예방효과 평가

구 분		조사기간(3년)			비고
아동 1인이 보유하고 있는 충치경험 유지수	6세	1차 년도 5.77개	2차 년도 5.6개	3차 년도 4.9개	1차년도 및 2차년도보다 감소 추세를 보이고 있지만 지속적인 평가과정을 검토 또는 변화추이를 검토하여야 함
아동 1인이 보유하고 있는 충치경험 영구치수	12세	3.47개	3.0개	2.8개	
상수도수불화사업 인지도		61%	74%	85%	
충치예방효과 인지도	옳다, 옳을 것 같다.	85%	88%	87%	
	잘 모름	13%	11%	12%	

시하여 치아 예방효과를 평가한 것을 살펴보면 1992년 진해시의 경우 6세 아동에서 35.1%로 나타내고 있다.

계절별로 다르게 나타나는 원인은 수질변화라고 사료되므로 용해기를 사용하여 불소농도를 일정하게 공급하는 것이 효과적이다.

5. 결론

1. 불소함유량을 1일 4회식 실시한 결과 계절별로 살펴보면 봄의 경우 최소·최대농도 평균은 0.719-0.737mg/l, 여름의 경우 평균 최소·최대농도 각각 약 0.657-0.674mg/l, 가을의 경우 평균 최소·최대농도 각각 약 0.622-0.646mg/l, 겨울의 경우 평균 최소·최대농도 각각 약 0.701-0.721mg/l로 나타내고 있다.

2. 불소투입기 및 자동제어장치를 5년으로 감가상각비로 계산하여 보면 연간 40,000,000원이며, 월별은 3,333,333원이다. 약품구입비 10,000,000원이므로 이 지역의 급수인구로 나 월평균 6,700,000원을 합산하면 월별 약누면 1인당 월평균 부담금은 약 136원 정도로 나타나고 있다. 그러나 1일 평균급수량은 약 320/day이므로 실제 1인 1일 음용과 음식물에 사용되는 수돗물 양은 극히 적으므로 불소 부담금은 매우 높다고 사료된다.

3. 불소투입 0.8mg/l에 대한 불소함량을 살펴보면 1인 1일 음용(1.5l)이 50%, 식탁(1.5l)중국, 밥, 반찬순으로 불소가 함유되어 전체에 대하여 50% 정도로서 하루 불소 섭취량은 2.4mg으로 나타나고 있다.

그러나 대소변으로 약 60% 정도 배설되므로 인하여 기준치 이하로 나타나고 있다.

4. 현장실험은 불소투입량을 각각 0.76+0.02mg/l, 0.79+0.03mg/l, 0.91+0.15mg/l, 0.95+0.19mg/l, 0.98+1.20mg/l으로 하여 본 결과 농도증가는 매우 적게 나타났다. 이것은 음식물을 사용한 관계로 불소가 음식물 내에 축적 된 것으로 보아지므로 음식물에 대한 불소농축실험이 지속적으로 이루어져야 한다고 사료된다.

5. 대상 지역의 치아예방효과에 있어서는 6세 아동의 경우와 12세에 대해 3년에 걸쳐 실시한 결과는 유치의 충치예방율은 8세 연령층에서 20%, 영구치 충치예방율은 31%, 11세 연령에서 28%, 14세 연령층에서 35%, 이것은 8-14세 사이에서 약 31%의 충치 예방 효과가 나타나고 있다. 그리고 진해시의 경우는 조금 높은 35.1%로 나타내었다.

또한 선진국에서는 우식경험 영구치가 감소하고 있는 반면 우리나라에서는 수치적으로 충치 개수가 높게 나타나고 있다.

참고문헌

김진범·김종배(1994) 도사상수도 수불화사업의 효과에 관한 연구. 서울치대논문집, 12(2), pp. 1-12.
보건사회부(1988) 상수도수 불화사업에 관한 세미나. 국민구강보건연구소, pp. 34-89.
안양시(1995) 비산포일 정수장 상수도수 불화사업에 관한 연구. pp. 25-75.
이양규(1996) 상수도수 불화사업에 관한 실험적 연구. 대한토목학회 논문집, 16(II-6), pp. 631-637.

- 이양규 · 김갑진(1996) 상수도수 불소투입에 관한 연구. *상하수도학회지*, 10(4), pp. 73-84.
- 이양규 · 김갑진(2001) 상수도수 불화사업을 위한 지역 및 음용수별 불소농도 비교. *상하수도학회지*, 15(6), pp. 532-541.
- 환경부(2000) 음용수 허가기준에 관한 규정. pp. 24-37.
- A.D.A (1995) *Journal of American Dental Association*, 126, p. 1625.
- A.D.A (1995) *Journal of American Dental Association*. 126, p. 1617.
- AWWA (1990) *Water Quality & Treatment-A Handbook of Community Water Supplies-4th Ed.*, McGraw-Hill.
- Bellack, E. and Schouboe, P.J. (1988) Rapid photometric determination of fluoride in water. *Analytic Chemistry*, 30, p. 2032.
- Bundock, J.B. et al. (1982) *Fluoride Water Fluoridation and Environmental Quality*. Science and Public Policy, Canada.
- CDC (1985) *Fluoridation Census-1985*, U.S. Dept. Health & Human Service. Centers for Disease Control.
- Cook-Mozaffari, P & Doll R. (1981) Fluoridation of Water Supplies and Cancer Mortality II, Mortality Trends After Fluoridation. *Jour. Epidemiol & Comm. Health*, 35(233).
- Gray Null (1995) *The Fluoridation Fiasco* CO. p. 446.
- Michael, D., Gerald A. (1991) The effect of point of use water condition system on community fluoridated water, *Pediatr. Dent.*, 13, pp.35-38.
- PDHA (1996) *Fluoridation blunder Report*. Preventive Dental Health Association.
- U.S. HHS (1991) *Review of Fluoride Benefits and Risk*. U.S. Dept. Health & Human Service.
- WHO (1987) *Oral Health Surveys*, Basic Method, 3rd Ed.