

論 文

상수도수 불소투입에 관한 연구

A Study of Fluoride Injection in Water Supply

김성순\* · 이양규\*\* · 김갑진\*\*\* · 서성원\*\*\*\*

Sung-Soon Kim · Yang-Kyoo Lee · Gab-Jin Kim · Seong-Won Seo

Abstract

Fluoride was first introduced into the drinking water of residents of Grand Rapids, Michigan in 1945 for the prevention of dental caries. Ever since, growing numbers of communities favor fluoridation. Now, over 7000 communities in the United States are adding F(0.7~1.2ppm) to their drinking water.

The most effective to prevent tooth decay is putting lower concentrated fluoride(F, 0.7~1.2ppm) into drinking water. However, exact fluoride injection amount have not been decided, because the research of the fluoride injection effect was insufficient.

Therefore, after separating fluoridation and non-fluoridation into public water supplies, we investigated concentration of fluoride, alkalinity, Al, Ca, Mg, evaporation residuals in APT, domestic, commercial area. Then, we decided allowable concentration of fluoride, injection point of fluoride in water supply system, cost effectiveness.

1. 序 論

上水道 弗化事業이란 수돗물에 低濃度(약 1.0ppm)의 弗素를 添加함으로써 齒牙우식증(蟲齒)을 豫防하는 事業으로, 1900년대에 미국을 비롯하여 많은 나라에서 연구되어 왔다. 弗素의 影響을 조사하게 된 원인은 남부유럽지역 사람들이 흑치(黑齒, Black Teeth)를 많이 保

有하고 있었는데, 그 원인은 상수에 높은 濃度의 弗素가 含有되어 있기 때문인 것으로 調査되었다. 1)

弗素(Fluoride, F)는 齒牙를 健康하게 하고 蟲齒를 豫防할 수 있다는 이점이 있으나 濃도 이상에서는 齒牙에 색깔이 나타나는 斑傷齒을 誘發하게 되며, 심한 경우에는 인간의 건강에 극히 위험한 영향을 미치게 된다. 이렇듯, 불소처리가 齒牙를 보호하고 충치를 예방하는데 가장 안전할 뿐만 아니라 값이 저렴하고 효과적인 방법임이 判정됨에도 불구하고, 현재 上水施設의 弗素投入에 대한 많은 논란이 제기되고 있으며, 실제로 이에 따른 效果, 安全性 및 經濟性에 대해서는 여전히 論難의 對

\* 중앙대학교 토목공학과 교수  
 \*\* 대림전문대학 토목공학과 조교수  
 \*\*\* 중앙대학교 토목공학과 박사과정  
 \*\*\*\* 중앙대학교 토목공학과 박사과정

象이 되고 있으므로, 弗素의 淨水場 投入時, 발생할 수 있는 제반 문제점에 대해 충분한 調査와 研究 및 檢討가 必要하다고 생각된다.

따라서 본 研究에서는 불소투입지역과 비투입지역으로 구분하여 弗素의 投入시 발생할 수 있는 수질변화(알카리도, 알루미늄, 칼슘, 마그네슘, 중발산유물)를 분석하고, 우리나라에서는 상수도수를 끓여서 음용하기 때문에 불소투입시 시간경과에 따른 불소의 濃縮試驗도 실시하였다.

## II. 理論的 背景

### 1. 上水道 弗化事業의 背景<sup>2, 3, 4, 5)</sup>

치아우식증은 세계에 가상 널리 유행하고 광범위하게 퍼져 있는 질병 중의 하나이다. 치아우식증은 특정 연령이나, 성별, 경제적 상태에 국한되지 않을 뿐 아니라 모든 나라, 모든 인종에서 나타난다. 치과 검사를 시행한 모든 나라에서 전체 국민의 대부분이 치아우식증과 그 후유증에 이환(罹患)되어 있는 것으로 나타났다. 또한 乳齒가 猛出하자마자 치아우식증이 시작되는 것을 알 수 있다. 많은 나라의 어린이에 있어서 치아우식증의 罹患率에 관한 많은 研究가 있었으며, 이 研究에서 學齡期에 접어든 어린이는 치아우식증에 이환된 많은 치아들을 가지고 있다는 사실을 볼 수 있었다.

이 실험의 결과는 어린이나 청소년 모두에게 특별히 심각할 수 있다. 치아우식증은 점차 크기가 커져서 자주 심한 고통을 초래하고 결국 치아를 잃게 된다. 이로 인한 기능의 감소는 자라나는 어린이의 영양에 영향을 미칠 수 있다.

치아우식증을 초기에 발견하여 치료하는 것이 이 질환과 그 결과를 관리하는데 효과적이다. 그러나 이러한 관점에서 볼 때, 인구당 치과 의사 수가 가장 높은 나라에서조차도 치료가 필요한 사람 중 1/3만이 치료를 받고 있는 실정이다. 전세계의 여러 나라에서 치과 의사/인구의 비율은 매우 낮다. 따라서 치료하는 방법만으로 전세계에 퍼져 있는 치아우식증을 가까운 장래에 해결한다는 것은 불가능하다.

다른 疾患과 마찬가지로 치아우식증의 理想的인 解決策은 豫防이다. 口腔衛生으로 부터 엄격한 食餌調節에 이르기까지, 치아우식증을 豫防하려는 많은 노력들이 경주되어 왔다. 특히, 粘着 醱酵性 炭水化物(sticky fermentable carbohydrates)의 攝取를 줄이고, 식사 직후나 정확한 시간 간격으로 칫솔질을 하며, 양치를 하고, 治療用 齒藥을 使用하며, 비타민이나 미네랄(mineral)같은 食物을 보충해 주는 등의 方法이 있다.

飲用水에 弗素를 添加함으로써 치아에 대한 효과의 잠재된 의의는 生理的인 效果에 대한 많은 흥미를 誘發시켰다. 불소는 뼈와 치아를 구성하는 기본성분의 하나이며, 이것이 부족하면 骨格系가 정상적으로 성장하지 못한다. 따라서 불소는 인간의 정상적인 成長과 發展에 중요한 役活을 한다.

弗素는 우리가 먹고 마시는 모든 食物과 飲料水 및 우리가 숨쉬는 공기중에도 존재한다. 食物은 종류에 따라 흡수하는 불소의 양이 다르며, 우리가 마시는 차에도 비교적 고농도의 불소가 함유되어 있다. 이러한 불소이온을 통하여 불소는 인간에게 섭취된다. 그러나 自然水의 弗素濃度는 특별한 경우를 제외하고는 극히 낮은 수준이다. 일반적으로 地表水에서의 불소의 농도는 "0"에 가깝고 대부분의 地下水에 있어서도 이와 유사하다. 그러나 弗化物이 발달한 암반층을 흐르는 地下水에서는 弗素濃度가 10ppm에 이르는 경우도 있으며, 해수중의 弗素는 1.4ppm 정도이다.

上水道 水弗化事業이란 淨水場에서 上水道水에 低濃度의 弗素를 添加함으로써 개인의 특별한 努力없이 上水를 통해 弗素를 攝取하게하여 齒齦을 豫防할 수 있는 公衆口腔 保健事業이라 할 수 있다.

### 2. 弗素化合物

弗素分子는 매우 결합력이 강하여 자연상태에서는 독립적으로 존재하지 않는다. 弗素分子의 酸化力은 上水道水의 消毒에 이용되는 鹽素보다 2배나 강하다. 따라서 용액속의 弗素이온

표 1. 불화물의 물리적성질

구 분	불화나트륨(NaF)	불화규소나트륨(Na <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> )	불화규산(H <sub>2</sub> SiF <sub>6</sub> )
형 태	고체(백색분말)	고체(백색분말)	액체(무색투명)
분 자 량	42	188	144
비 중	2.79	2.68	1.2
용해도(25°C기준)	4.0g/100ml	0.76g/100ml	-
불소함량			
· 순수약품중 함량	45.2%	60.6%	79.1%
· 약품순도	98.0%	98.0%	22.0%
· 약품중 함량	44.3%	59.4%	17.4%
기타			
· 국내생산여부	可	否	可
· 국내생산능력	1,000ton/년	-	15,000ton/년
· 가격	고 가	적 당	저 련

을 불소분자로 변화시킬수 있는 化學的 方法은 없다. 자연계에서 弗素는 단지 다른 성분과의 결합된 弗化物(fluride)로서 존재할 뿐이다. 따라서 淨水場에서 불소를 투입할 때는 불소자체만을 투입할 수는 없고, 弗素가 다른 물질과 결합되어 있는 弗化物(弗素化合物)의 形態로 투입된다. 6)

물에 포함된 弗素는 원래의 弗素化合物이 무엇이든 상관없이 전부 불소이온(F<sup>-</sup>)으로 존재한다. 弗素이온과 反應하는 양이온이 아무런 해가 없다면 상수도 불화목적으로 사용하는 데는 아무런 문제가 없다. 弗化物의 값은 上水道 水 弗化事業의 總費用중에서 80% 이상을 차지하고 있기 때문에 弗化物 價格을 낮추는 것은 事業費用을 切感하는 데 있어서 가장 중요한 일이라 할 수 있다.

이론적으로 수중에서 불소이온을 형성하는 화합물은 공급수의 불화물양을 증가시키는데 이용될 수 있다. 그러나 상수도 수불화용으로 사용할 화합물을 선택할 때는 몇가지 실질적인 고려사항이 있는데,

첫째, 일상적인 水處理 施設可動에서 그 化合物을 使用할 수 있도록 충분히 溶解되어야 하고, 둘째, 弗素이온이 붙어있는 陽이온은 有害한 特性을 가지고 있지 않아야 하며, 셋째, 이 물질은 비교적 低廉하여야 하며, 目的하는

用도에 적합한 純도와 크기의 等級에 따라 쉽게 이용할 수 있어야 한다.

이러한 점에서 현재 가장 一般的으로 利用되는 弗素化合物은 粉末形態인 弗化소다(sodium fluoride, NaF)나 弗化矽酸소다(sodium silicofluoride, Na<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>)와 液體形態인 弗化矽酸(hydrofluosilicic acid, H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>)이며, 그밖에는 弗化칼슘(CaF), 弗化矽素 마그네슘(MgSiF<sub>6</sub> · 6H<sub>2</sub>O), 弗化矽素암모늄((NH<sub>4</sub>)<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>), 弗化칼륨(KF · 2H<sub>2</sub>O) 등이 있다. 그중 대표적인 불화물의 물리적 특징을 표 1에 나타내었다. 7)

화학적 기준에서 上水道弗화와 직접관련이 있는 항목은 弗素濃度로서 1ppm을 넘지 않도록 규정하고 있다. 弗素에 관한 규정은 세계각국의 飲料水 수질기준에 포함되어 있으며 그 내용은 표 2과 같다. 8)

弗素의 過剩攝取時 나타날수 있는 斑傷齒의 危險性を 고려하여 각국에서는 다소 차이가 있으나 許容濃度를 1.5ppm 수준으로 책정하여 규제하고 있다. 미국의 경우는 수온에 따라 불소의 허용농도를 다르게 한다. 더운 지역에서는 물섭취량이 많으므로 適定濃度를 낮게 정하여 불소의 과다섭취를 방지하고 있다.

현재 청주시의 淨水場에서 투입하고 있는 弗化物은 불화나트륨이다. 弗化나트륨은 간단한 裝置인 용해조로도 투입할 수 있는 장점도 있

표 2. 음료수 수질기준에서 정한 불소의 허용농도

나 라	불소허용농도(ppm)
한 국	1.0 이하
미 국	1.4~2.4
일 본	1.8 이하
서 독	1.5 이하
벨기에	1.5 이하
스웨인	1.5 이하
프랑스	1.5 이하
EEC	0.7~1.5
WHO	1.5 이하

지만, 價格이 비교적 高價이어서 세계적으로 가장 많이 사용되고 있는 것은 弗素硅素나트륨이다. 弗素硅素나트륨은 弗化나트륨의 價格에 미하여 3분의 1정도로 저렴할 뿐만아니라 우리나라 磷酸質肥料 工場에서 나오는 弗化硅素나트륨을 특별한 정제과정없이 바로 上水道 水弗化사업에 이용하여도 수질에 문제가 없는 안전한 것으로 연구된 바 있다.

弗化硅酸은 低廉하며 噸당 가격도 弗化나트륨의 13%수준이다. 弗化硅酸은 液體이므로 弗化物을 溶解하는 設備가 필요없이 壼프만으로도 수돗물 送水量에 일정한 比率로 投入하면 된다. 따라서 設備費가 가장 적게 든다. 弗化나트륨중의 弗素 含有量은 45.3%이지만 弗化硅酸 중의 弗素함량은 72.9%이다. 그런데 弗化硅酸은 液體로서 20~35%만 弗化硅酸 자체이고 나머지는 물이다. 液體로 된 弗化硅酸 總重量의 18.2% 정도만 弗素 이온이다. 따라서 重量으로 계산하면 液體 弗化硅酸을 投入할 경우 弗化나트륨 使用量의 2.5배를 投入하면 된다. 액체 弗化硅酸의 噸당가격이 분말형태인 弗化나트륨의 13% 정도인 것을 勘案하면, 실제 弗化나트륨을 投入할 때 보다 弗化硅酸을 투입하면 약품비용이 32.5% 정도 밖에 들지 않는다.

### 3. 國內外 現況

淨水場에서 弗素를 投入하는 과정은 기술적으로 어려움이 없으며, 또한 弗素濃度を 일정

하게 유지하는데 어려움이 없기 때문에, 수돗물을 飲料水로 이용하지 못하는 서유럽을 除外하고 美國을 비롯하여 세계 67여 개국의 많은 도시에서 本事業을 실시하고 있고, 東南亞 지역에서도 홍콩, 싱가포르, 말레이시아, 베트남, 호주, 뉴질랜드 등지에서 實施되고 있으며, 약 60%의 蟲齒豫防效果가 있다는 것으로 보고하고 있다. 일본의 경우는 사업의 효과면에서 否定的으로 判斷하고 1993년부터 사업시행을 중단하고 있으며, 스웨덴과 네델란드, 덴마크 등 선진 복지국가에서는 본 사업을 추진하지 않고 있다.

Washington D.C와 시카고, 일리노이즈를 포함한 인구 5만 또는 그 이상인 100여개의 도시는 20년 이상동안 조정된 弗素注入을 하였다. 인구 10만 또는 그 이상인 모든 도시의 약 70%가 弗素處理된 물을 마신다. Columbia District와 Puerto Rico 등의 22개 주 이상이 그들 인구의 절반 이상에게 弗素處理된 물을 제공한다.<sup>9,10)</sup>

우리나라에서는 1980년 保健社會部 訓令 제 412호에 上水道弗素注入에 관한 規定을 제정한 후, 示範적으로 1981년 2월부터 경상남도 진해시의 수돗물에 처음으로 弗素를 投入하여 上水道 水弗化事業의 막을 열었으며, 그 이듬해인 1982년에는 淸州市에서 弗素를 投入하기 시작했다. 1982년부터 1985년까지 3년간 齒牙우식 豫防效果를 평가하였고, 淸州市는 1992년부터 계속적으로 齒牙우식 예방효과를 평가하고 있으나 鎭海의 경우 1992년 이후에 중단되었다. 鎭海市와 淸州市의 弗化事業이 한창 진행중이던 1987년의 調査에서는 鎭海市의 6세 아동에서 52.14%, 淸주시의 6세 아동에서 45.77%의 우식증 예방효과가 産出되어 사업시작에서부터 조사당시까지의 기간이 짧았음에도 불구하고 상당히 높은 豫防效果로 평가되었다. 경기도 과천시에서는 이 사업을 자체적으로 추진하여 현재 弗素事業을 시행하고 있다.<sup>11,12,13)</sup>

지금까지 미국에서는 1,500여 개가 넘는 지역에서 3,200만 명이 기계적으로 弗素化된 飲

用水를 사용하고 있다. 오스트레일리아(2), 벨기에(1), 브라질(3), 캐나다(3), 칠레(1), 콜롬비아(1), 엘살바도르(1), 독일연방 공화국(1), 영국(4), 일본(1), 네델란드(1), 뉴질랜드(1), 파나마 운하지역(1), 스웨덴(1), 베네주엘라(1) 등의 각 나라에서는 한 개 이상의 弗素化 프로그램이 시행되고 있다.

노르웨이와 스위스에서는 최초의 弗素化 프로젝트를 위한 계획이 승인되어 진행되고 있는 중이다. 이러한 상기의 내용은 弗素化 프로그램의 현재 추세가 전세계적으로 해당 보건 관청이나 그들의 諮問委員會에 의해 승인되고 있다는 사실을 나타내고 있는 것이다.

### Ⅲ. 實驗方法 및 結果分析

#### 1. 實驗方法

불소투입지역과 비투입지역에서 채취한 시료를 환경오염 공정시험법상의 흡광광도법(란탄-알리자린 콤플렉스법)을 이용하여 측정하는 것이다. 흡광광도법에 사용되는 알리자린 콤플렉스는 황갈색의 분말이며, 알콜, 에테르에 불용이고 알칼리성 수용액에 녹는다. pH 13 이상에서는 청자색이고 pH 6~8에서는 적색을 띄며 pH 4.5 이하에서 황갈색이다.

전처리한 시료적당량(30ml 이하로서 불소 0.05mg 이하 함유)을 50ml 용량플라스크에 취하여 란탄-알리자린 콤플렉스 용액 20ml를 넣고 물을 넣어 표선까지 채우고 흔들어 섞은 다음 약 1시간 방치한다. 이 용액의 일부를 총장 10mm 흡수셀에 옮겨 검액으로 하고, 파로볼 30ml를 취하여 시료의 시험방법에 따라 시험하여 바탕시험액으로 한다. 바탕시험액을 대조액으로 하여 하여 620nm에서 검액의 흡광도를 측정하고 미리 작성한 검량선으로 부터 불소이온의 양을 구하고 농도(mg/l)를 산출한다.

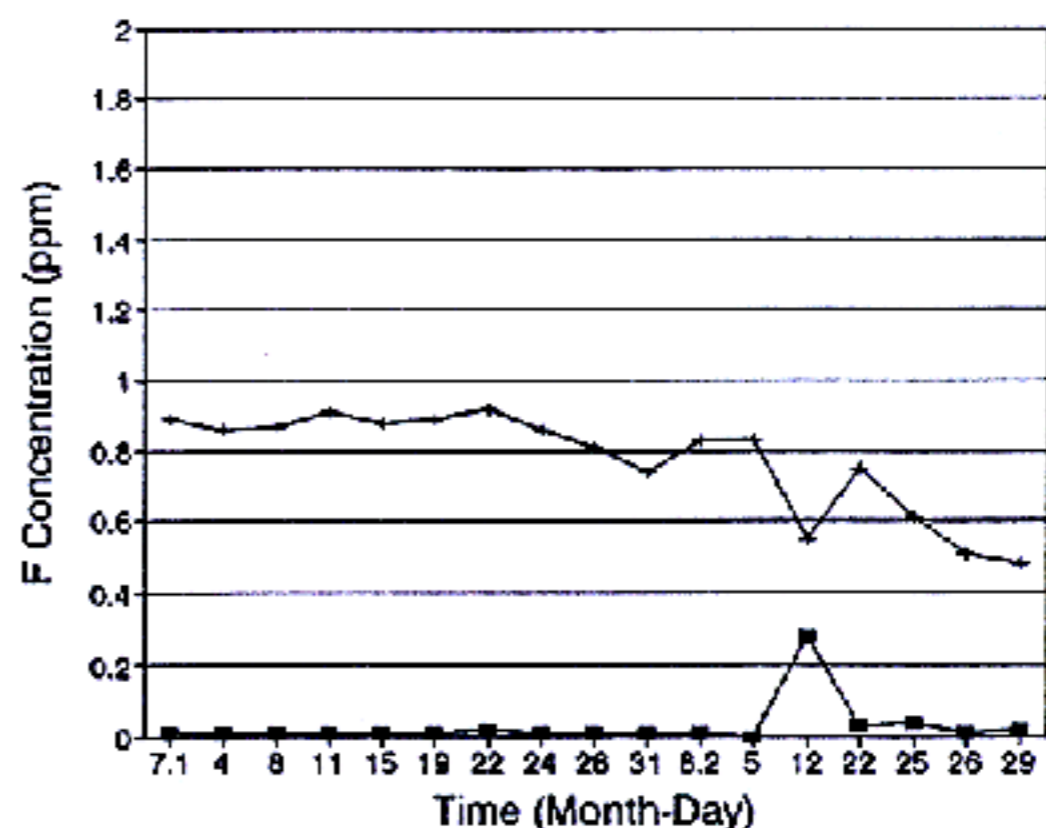
#### 2. 弗素投入 前後에 의한 化學反應物質

본 연구의 대상인 두 도시의 수원은 팔당댐이며, 상수도 불화사업을 실시하고 있는 도시와 실시하고 있지 않은 도시로 구분하여 실시

하였다. 불소 비투입지역(A시)과 투입지역(B시)의 APT, 상가, 일반 주택지역으로 구분하여 5개월 동안(채취회수 총 50회) 상수를 채취 분석하여, 弗素投入有無에 따른 알카리도, 알루미눔, 칼슘, 마그네슘 그리고 蒸發殘留物의 濃度變化를 실험분석하였다.

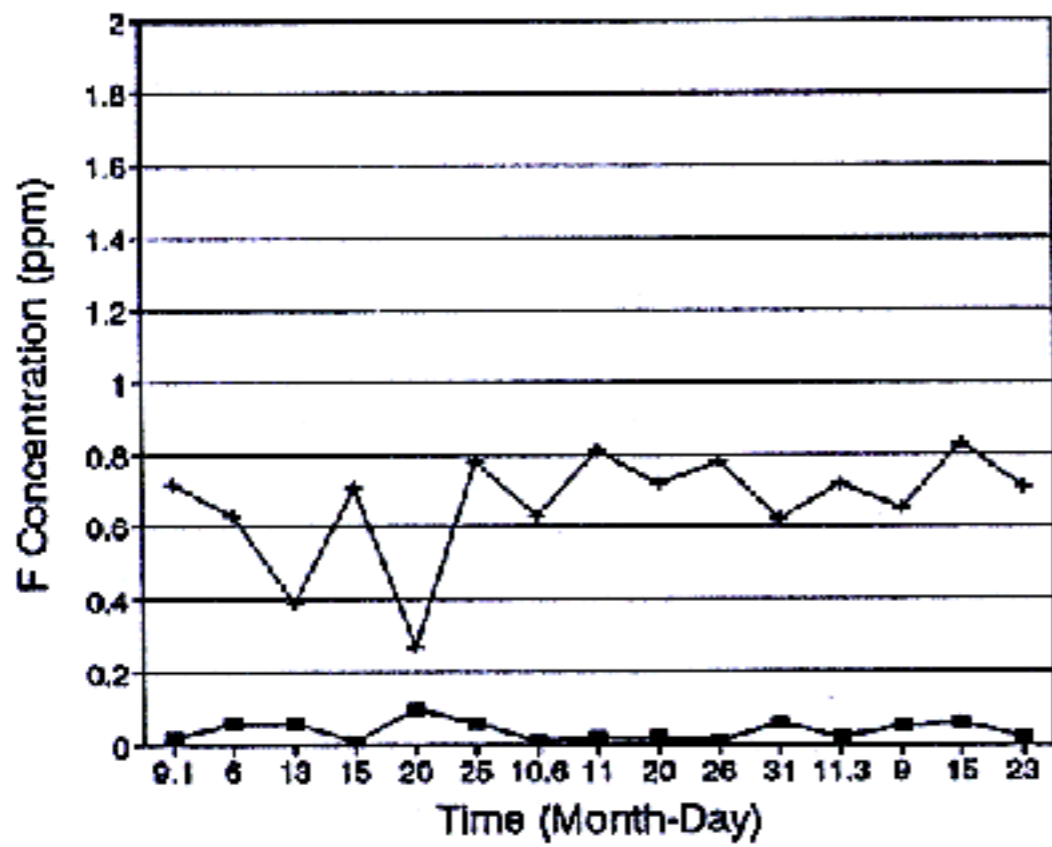
그림 1과 그림 2는 불소투입지역과 비투입지역에서 정수장의 수도수를 채취분석한 것이다. A시에서는 불소를 전혀 투입하지 않았는데, 약간의 불소가 검출된 경우도 있었다. 이 원인은 자연발생, 지하수가 상수도로 유입되었을 가능성이 있거나 철근콘크리트조로된 물탱크에서 나온 것이라고 사료된다. 또한 8월, 9월에 B시에서 정수장 관로공사로 인하여 불소농도의 값이 불규칙하였는데, 이는 유량에 문제가 있다고 생각되며, 추후 유량관계를 연구하여야 할 것이다.

표 3과 그림 4에서 보는 바와 같이 A시 전체 지역의 平均濃度는 0.05ppm이었으며, 이는 치아나 골격형성에 아무런 영향이 없는 극소량이다. 弗素를 投入하고 있는 B시의 경우는 0.67ppm로 나타났다. 弗素를 투입하고 있지 않는 A시의 APT지역에서는 弗素가 평균 0.06ppm 정도 上水道水에 존재하고 있는 것으로 나타났는데, 이는 上水道에도 일반적으로



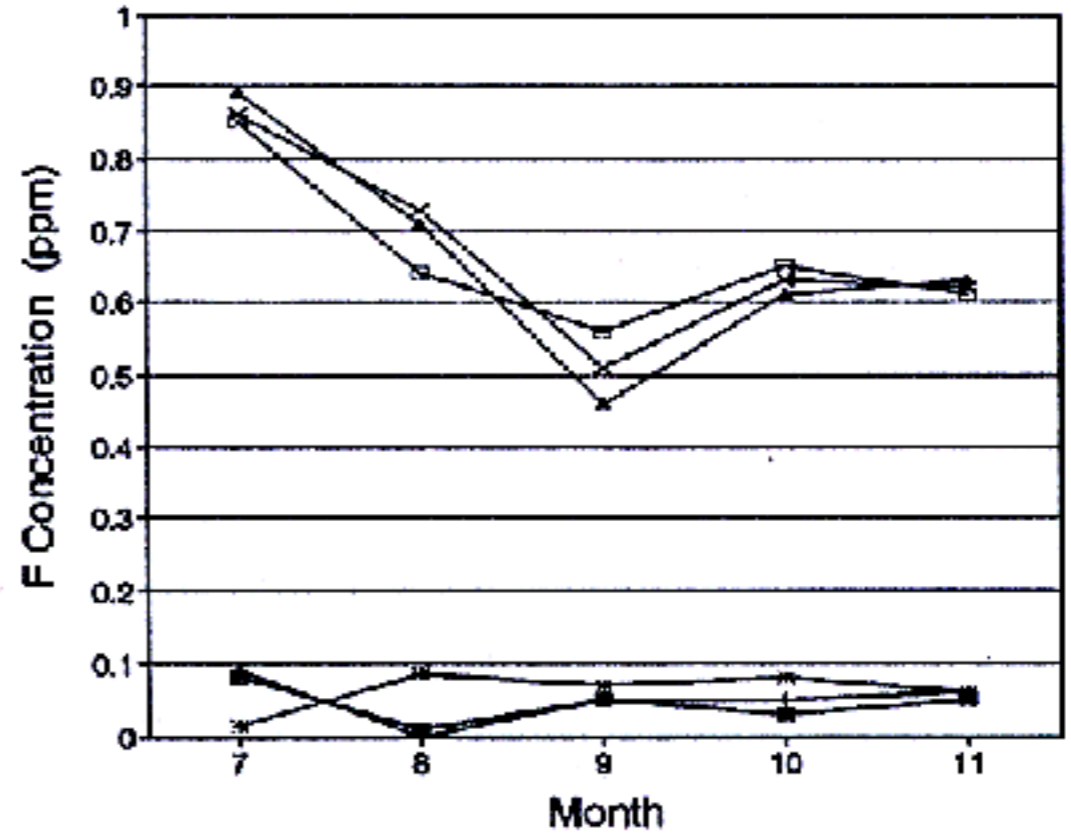
—■— 불소 투입지역 + 불소 비투입지역

그림 1. 불소의 투입 유무에 따른 농도변화 (7월~8월)



—■— 불소 투입지역 + 불소 비투입지역

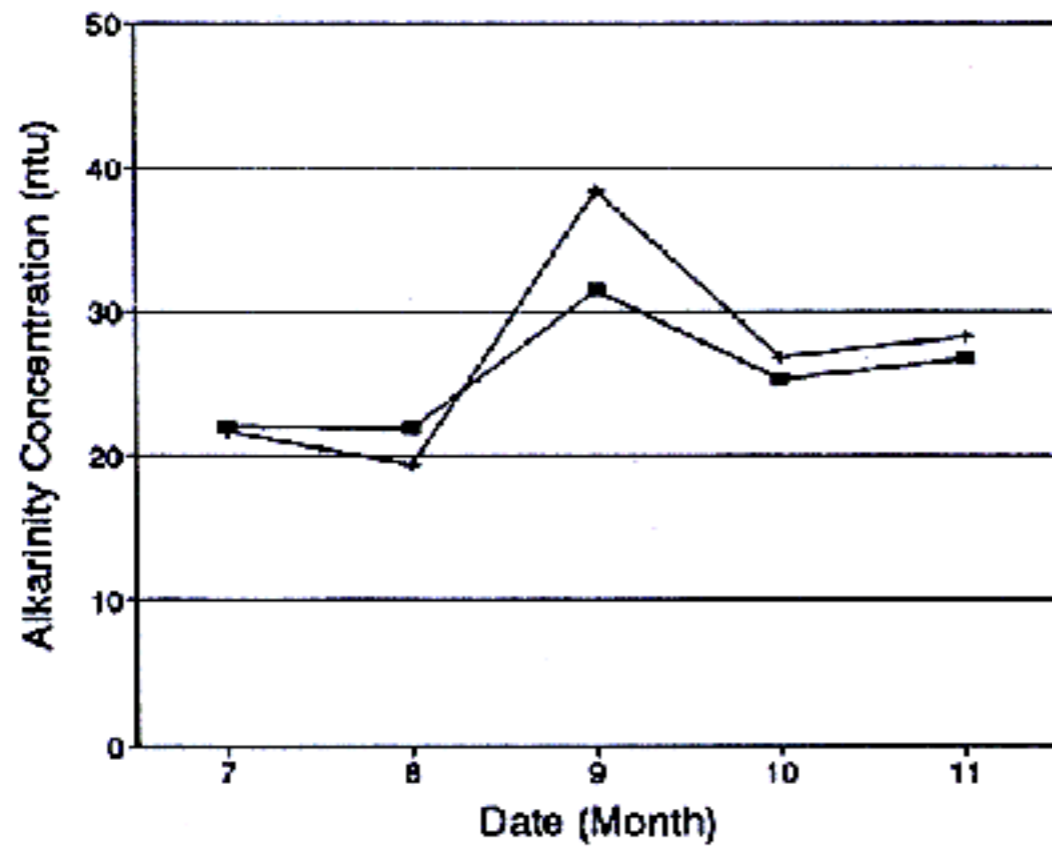
그림 2. 불소의 투입 유무에 따른 농도변화 (9월~10월)



—■— 주택지역 + 상업지역 -x- APT(대상지역A)

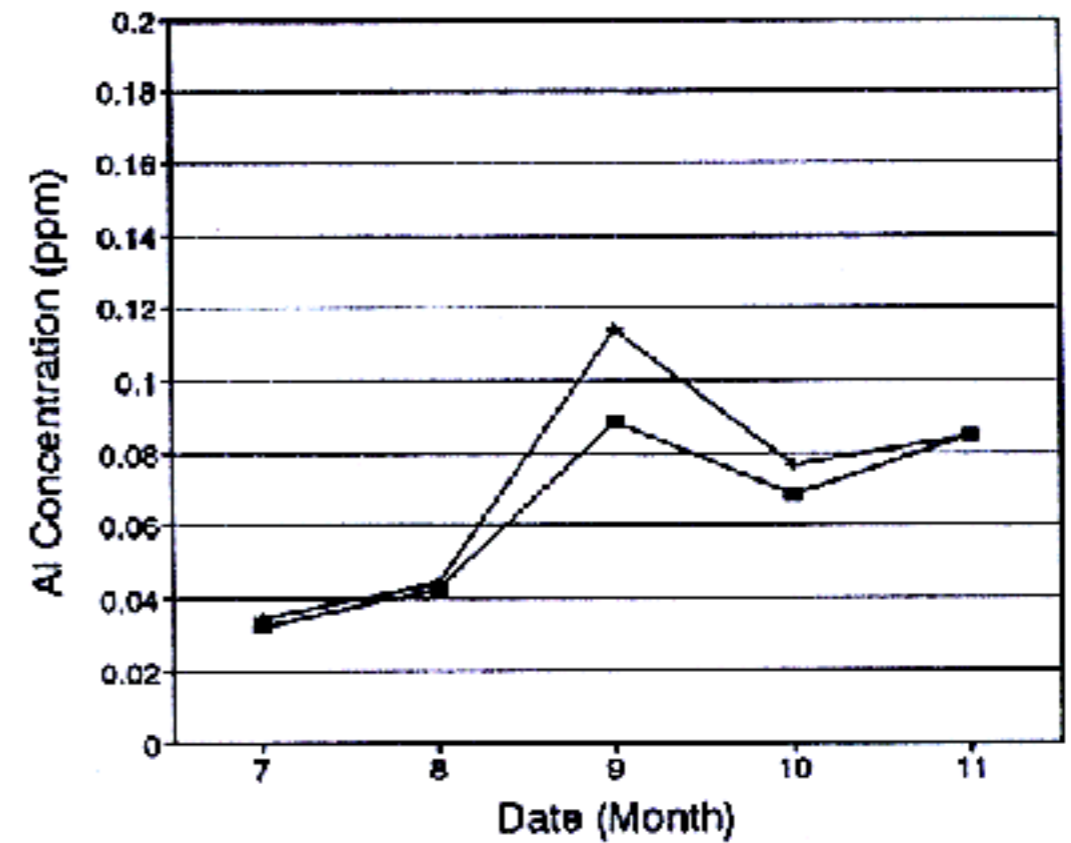
—□— 주택지역 -x- 상업지역 -▲- APT(대상지역B)

그림 3. 지역별 불소의 투입 유무에 따른 농도변화



—■— 불소 투입지역 + 불소 비투입지역

그림 4. 불소의 투입 유무에 따른 알카리도의 농도 변화

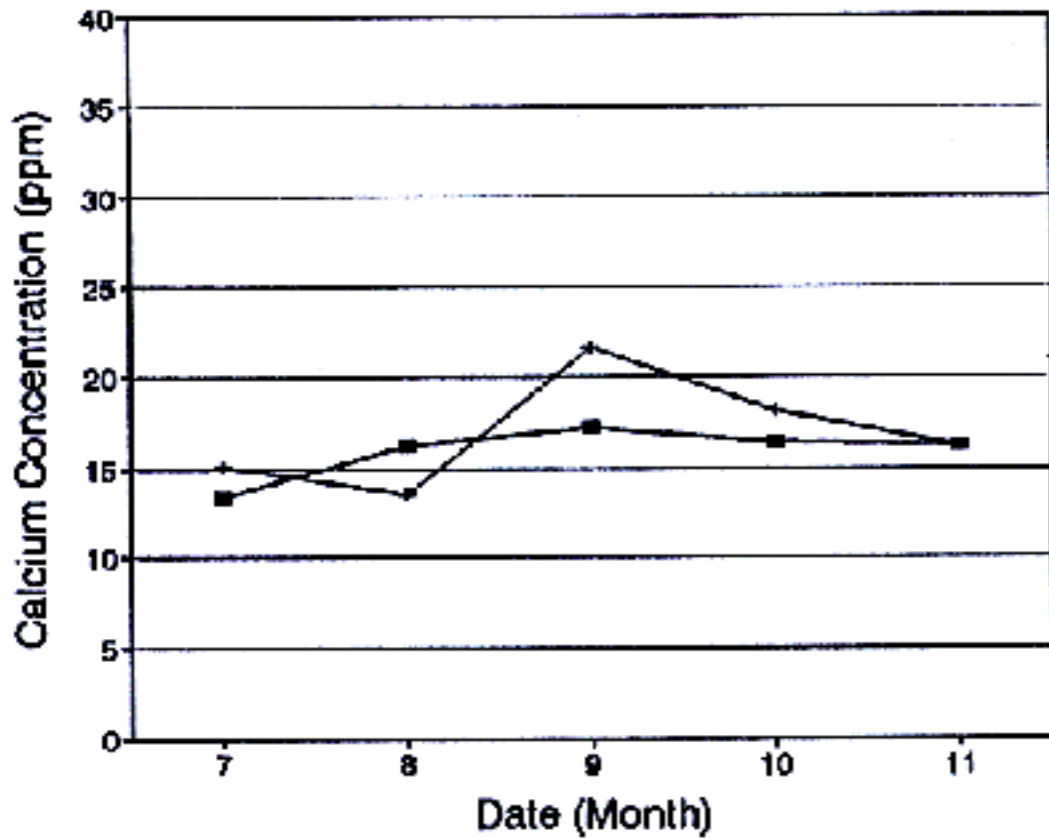


—■— 불소 투입지역 + 불소 비투입지역  
—■— 불소 투입지역 + 불소 비투입지역

그림 5. 불소의 투입 유무에 따른 알루미늄의 농도 변화

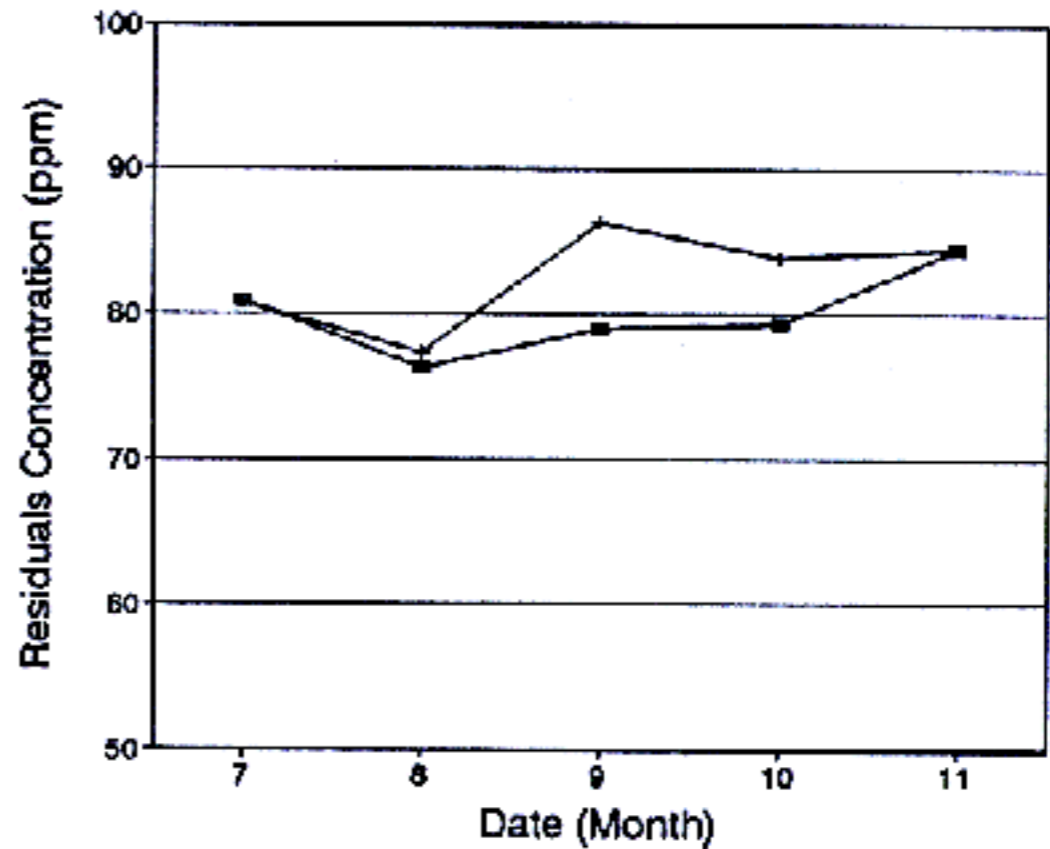
표 3. 내상지역의 불소농도의 분석결과(단위: ppm)

지역구분	불소 비투입지역(A시)			불소 투입지역(B시)		
	주택지역	상 가	APT	주택지역	상 가	APT
범 위	0.00~0.0	0.00~0.16	0.00~0.16	0.26~0.92	0.24~0.91	0.28~0.98
평 균	0.04	0.05	0.06	0.67	0.67	0.66



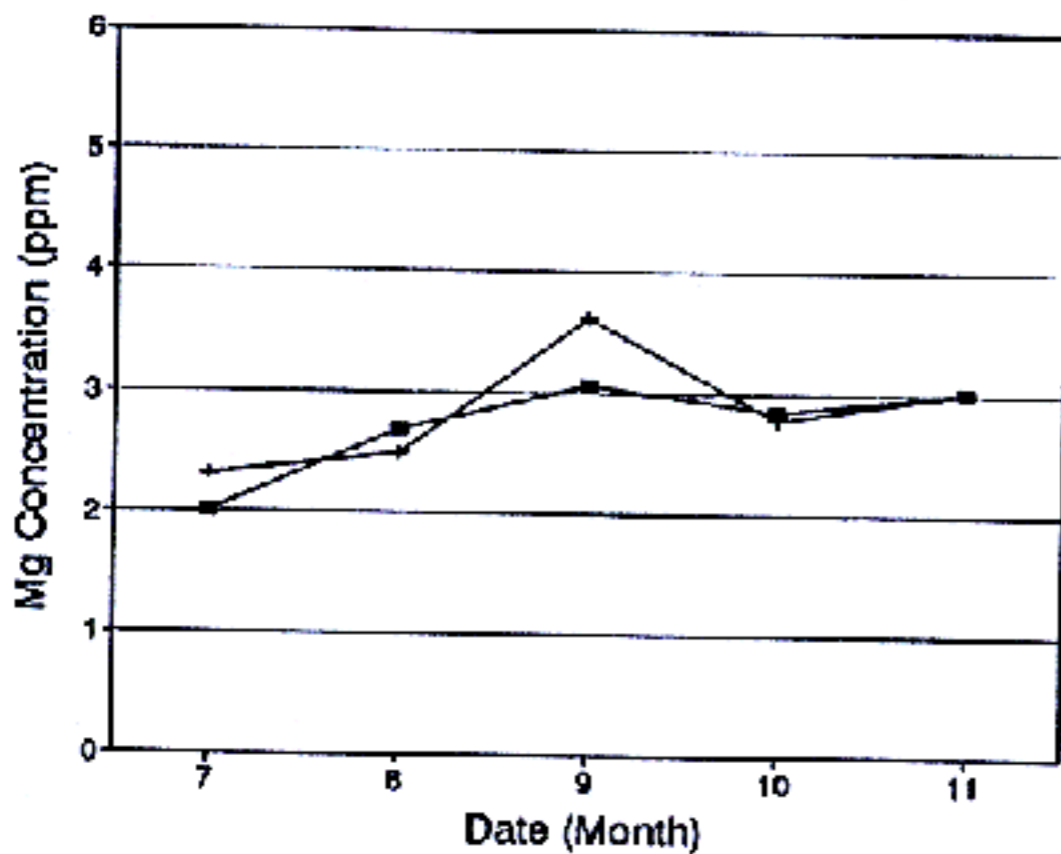
—■— 불소 투입지역 | 불소 비투입지역

그림 6. 불소의 투입 유무에 따른 칼슘의 농도변화



—■— 불소 투입지역 + 불소 비투입지역

그림 8. 불소의 투입 유무에 따른 중발잔유물의 농도변화



—■— 불소 투입지역 | 불소 비투입지역

그림 7. 불소의 투입 유무에 따른 마그네슘의 농도변화

미량의 弗素가 함유되어 있다는 것으로 볼 수 있다. 대상지역 A에서는 弗素를 投入하지 않았으므로 自然水中에 존재하는 정도인 미량의 弗素만이 검출된 반면, B지역에서는 1.0ppm 미만의 弗素濃度가 검출되었으며, 동절기에서는 불소용해가 적게 일어나므로 인하여 투입농도 0.8ppm 보다 낮게 나타나고 있다.

그림 3에서 그림 8은 불소와 관련된 화학 반응물질들을 투입지역과 비투입지역으로 구분하여 그 농도를 측정분석하여 그림으로 나타낸

것이다. 알카리도, 알루미늄, 칼슘, 마그네슘, 중발잔유물은 지역, 계절(특히 9월)에 따라서 차이가 나타났지만, 크게 우려할 것은 아니라고 사료된다.

### 3. 弗化事業의 經濟性 分析

#### 3.1. 既存 淨水場의 運營事業費

B시 정수장의 경우 일일 정수 생산능력이 약 3만톤 규모로서, 불화사업을 위해 소요되는 사업비를 보면 다음 표 4과 같다.

#### 3.2. A시의 淨水場의 運營사업비

A시의 경우, 1일 최대생산능력이 약 250천톤으로 C시 정수장이 1일 110천톤 규모에 비해 약 2.3배이다. 또한 A시의 불화사업 기계 장치의 예산은 표 5에서 보는 바와 같이 약 6

표 4. B시 정수장의 運營사업비(단위: 천원)

구분	사업비		비 고
	국 비	시 비	
불소투입기	67,000	33,500	
불소측정기 및 자동제어장치	-	60,000	
연간약품비	-	21,000	
계	67,000	114,500	

표 5. A시 불화사업 소요 예산(단위: 천원)

구 분	사 업 비	금 액
기계시설비 및 측정장치		600,000
년간 약품비		102,000

억 원으로 예상하였다.

또한 불화사업기계장치의 내구년수를 일반적으로 10년으로 보아 위에서 서술한 정액법을 이용하여 감가상각비를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{감가상각비} &= \frac{\text{구입가격}-\text{잔존가격}}{\text{내구년수}} = \frac{6\text{억원}-6\text{천6백만원}}{10\text{년}} \\ &= 5\text{천3백4십만원} = 4\text{백4십5만원/월} \end{aligned}$$

한편, 연간 약품소요비용을 계산해 보면, 안양시 1일 정수생산량이 25만 톤으로 하고, 불소투입 농도는 1.0ppm, 사용되는 불소의 형태는 불화나트륨(NaF, 순도: 0.988, 불소이온의 함량: 0.606, 톤당 단가: 82만원)을 사용하는 것으로 할 경우, 1일 소요되는 불화나트륨의 양은 0.342톤이 된다. 따라서 1년간 소요되는 불화나트륨의 비용을 계산하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} 0.342\text{t/day} \times 365\text{day} \times 82\text{만원} \\ = 1\text{억}2\text{백}3\text{십}6\text{만원} \end{aligned}$$

이를 월별로 계산하면 약 8백5십3만원 정도이며, 안양시 급수인구가 약 57만 명이므로 이를 월평균 감가상각비와 월평균 약품구입비를 합하면 약 1천2백98만원 정도가 된다. 이 액수를 급수인구로 나누면 1인당 월평균 부담금은 약 23원 정도가 되는 것으로 계산할 수 있다.

#### 4. 弗素投入地點 選定

불소화과정은 원수로부터 弗素注入率을 결정하고 淨水에 투입한 후, 수공급시스템을 통하여 소비자에게 공급된다. 따라서 上水道 管理 工程의 自動化 및 計測制御 시스템 방식의 導入을 통하여 非效率的인 기존의 인위적 관리방

식을 탈피하고 제한된 용수자원을 최대한 활용하여 능률적인 상수원 공급체계를 확립할 수 있다.

#### 4. 1. 最適制御의 시스템과 運營

본 연구지역은 징수장에 관리공정의 자동화 및 세척제어 System 방식이 도입된 곳이다. 따라서 불소투입 제어장치의 위치는 분산형 제어 장치의 기능에 포함되어야 할 것이다.

弗素를 注入하기 위해서는 정확하고 안정된 投入裝置가 필요하다. 一般的으로 弗化事業이 실시되고 있는 淨水場에서의 흐름도를 나타내면 그림 10과 같다.

#### 4. 2. 投入裝置

公衆官給水에 弗素를 첨가하는 것은 上水道에서 널리 사용되고 있는 다른 일상적인 기계적 방법들과 유사하다. 불화물 투입기의 종류와 그 비교는 그림 11과 표 6에 나타내었다.

주로 직통의 규모에 따라 부피형 투입기나 무게형 투입기가 잘 개발되어 있다. 弗化物 投入裝置는 粉末計量 投入器(dry feeder)와 容積計量 投入器(wet feeder 또는 solution feeder)로 대별된다. 粉末計量 投入器도 用量計量 投入器(volumetric dry feeder)와 重量計量 投入器(gravimetric dry feeder)로 분류되며 용적계량 투입기가 重量計量 投入器보다 가격이 저렴하다. 용량계량 투입기는 다시 溶解槽 附着形과 溶解槽가 필요없이 펌프만 사용하는 형으로 나눌 수 있다. 이중 값이 가장 비싼 것은 승량계량 분말 투입기이며, 가장 싼것은 용량계량 투입기 중에서 펌프만 사용하는 형이다.

弗化物 投入器는 사용하는 弗化物에 따라 선택이 달라진다. 弗化나트륨을 投入할 때는 粉末計量 投入器 또는 溶解槽가 부착된 용량계량 투입기를 사용하고 弗化硅素나트륨을 투입할 때는 분말계량 투입기를 주로 사용하고, 弗化硅酸을 투입할 때는 液體이기 때문에 펌프만 사용하면 된다.

用量計量 投入器는 粉末計量 投入器에 비하여 저렴하나 고가인 弗化나트륨을 사용할 경우에만 사용할 수 있다.

大規模 淨水場에서 弗化硅素소다(Sodium sil-



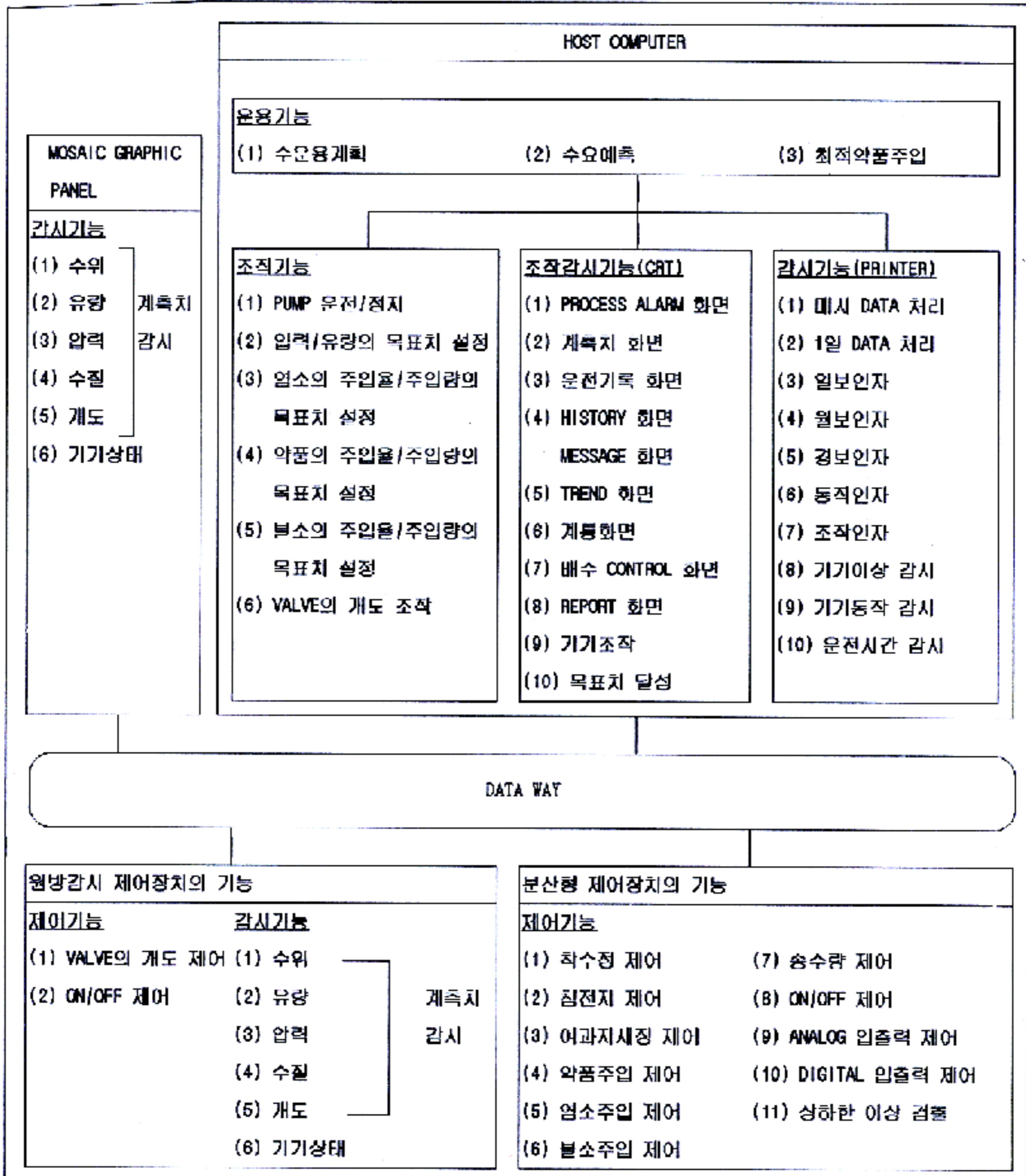


그림 9. 상수도수 세정제어 시스템에서의 운용개념

icofluoride,  $Na_2SiF_6$ )를 투입하여 上水道水を 弗化하고자할 때에는 弗化物粉末投入器를 이용하는 弗化物粉末投入法을 採擇하여야한다. 弗化物粉末投入器는 단위시간당 계량된 弗化物을 上水道에 투입하는 방식으로, 弗化物粉末

投入器는 크게 나누어 容積弗化物粉末投入器와 重量弗化物投入器로 대별된다.

가) 容積弗化物投入器

容積弗化物投入器는 단위시간당 容積으로 計量된 일정량의 弗化物을 上水道水에 投入하

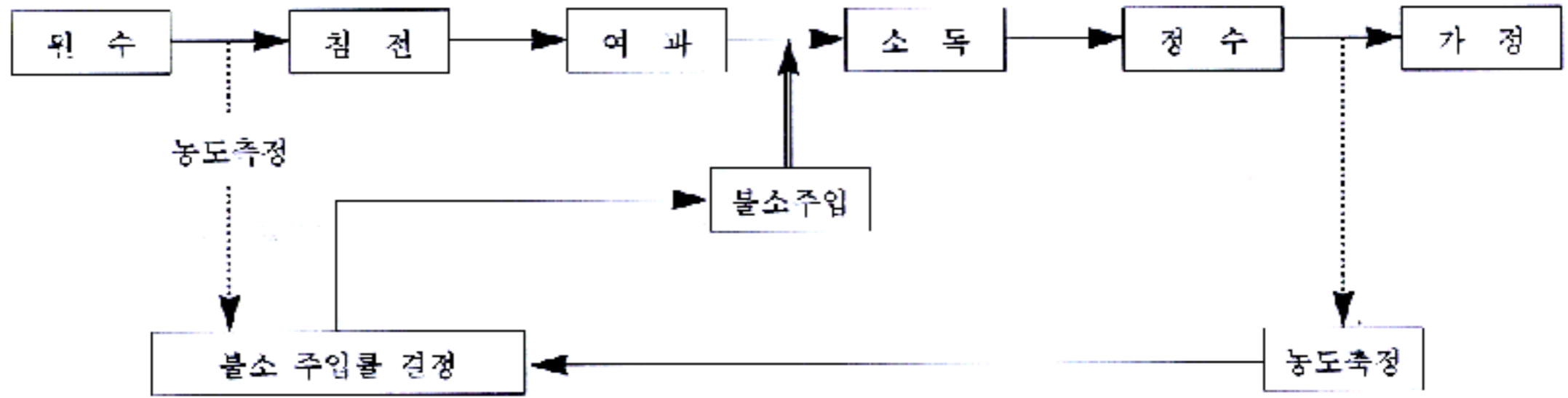


그림 10. 정수처리흐름도

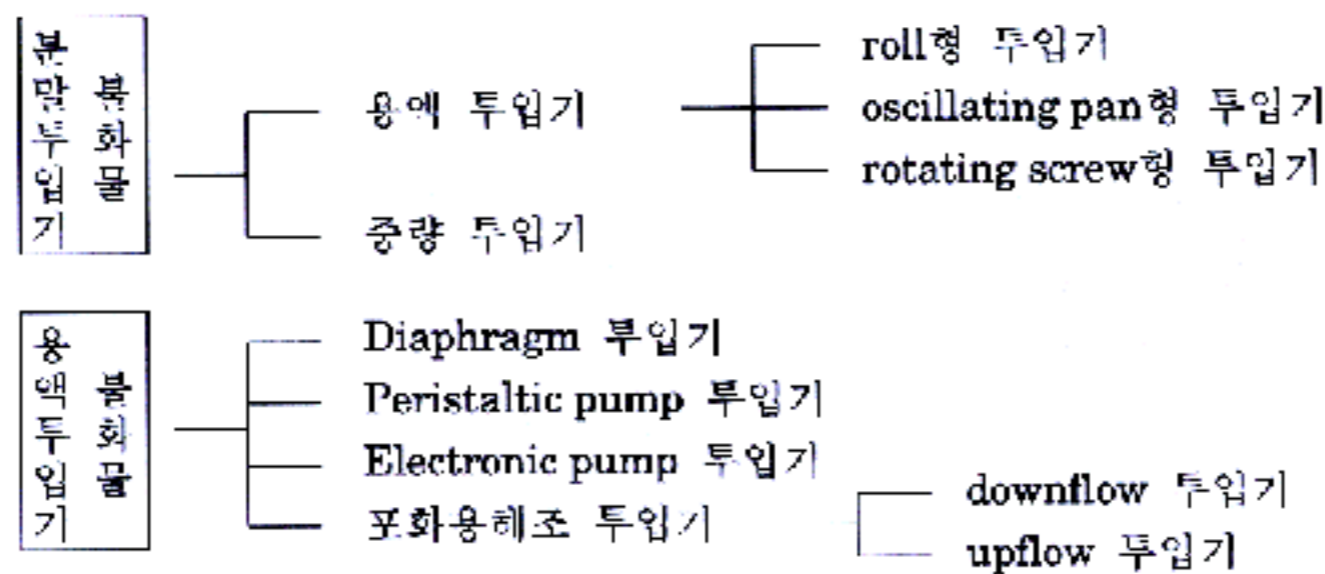


그림 11. 弗化物 投入器의 種類

표 6. 弗素投入器의 比較

구 분	분 말 투 입 기	용 액 투 입 기
투입방법	단위 시간당 일정부피나 중량을 수돗물에 투입	일정농도로 용해된 불소용액을 펌프를 이용하여 수돗물에 투입
현재 설치장소	청주시북 정수장	
종 류	용적분말투입기 중량분말투입기	포화용해조 투입기
용 이 점	대규모 정수장에 유리 제작 용이	소규모 정수장에 유리

는 裝置로서 roll형 投入器와 oscillating Pan(oscillating hopper) 및 rotating screw형 投入器로 구별된다. 容積弗化物 投入器중 가장 널리 활용되는 것은 rotating screw형 투입기로서 청주시의 지북정수장에 설치된 것도 이 투입기이다.

나) 弗素溶液 投入器

一定濃도로 용해된 不飽和 弗素溶液을 펌프로써 上水道水에 투입하는 방법으로서 diaphragm(or piston) 투입기 및 飽和溶液槽 投入器 등이 이용되며 飽和溶液槽 投入器는 弗

化物의 용해에 필요한 물을 공급하는 방식에 따라 다시 Downflow 투입기와 Upflow 投入器로 구분된다.

弗素溶液投入器 중 diaphragm 투입기와 peristaltic pump 투입기와 electronic pump 투입기는 일반적으로 弗化硅酸(hydrofluosilicic acid H<sub>2</sub>SiF<sub>6</sub>)용액을 이용하는 대규모 淨水場에서 주로 많이 이용되고, 飽和溶解 投入器는 弗化物로서 弗化소다를 이용하는 小規模 淨水場에서 주로 이용된다.

飽和溶液 投入器중 Downflow 투입기는 얼마

전까지 水弗化事業을 하던 鎮海市 淨水場에 설치된 장치로서 弗化소다의 溶解에 필요한 물이 용해조 위에서 떨어지게 하는 裝置로서 弗化소다가 용해되어 생긴 弗素溶液이 濾過層으로 이용되는 모래층을 通過한 후에 foot valve에 吸引되어 上水道管에 투입되는 장치로서 용해되지 않은 弗化소다가 모래여과층에서 길러져서 不溶解 弗化소다입자가 上水道管에 투입되지 못하도록 하는 장점이 있으나 弗化소다에 같이 포화되어 있던 不溶解 物質이 모래층에 엉켜져서 굳어지는 Caking 現狀을 일으켜 弗素溶液의 投入을 妨害하는 수가 많다. 따라서 모래여과층을 자주 洗滌해 주어야 하는 점이 제일 큰 단점으로 지적되고 있다.

飽和溶液槽 投入器중 Upflow 투입기는 弗化소다의 용해에 필요한 물이 용해조 아래 쪽에서 쌓여져 있는 弗化소다 사이로 솟아오르게 하는 장치로서 모래여과층이 없으므로 Downflow 투입기에서 要求되는 잦은 모래여과층 洗滌이 必要없다. 따라서 弗化物投入器를 관리하는 人力의 需要를 切感하는 長點이 있어, 小規模 淨水場用으로 사용되며, 남태평양의 미국령 섬인 괌(Guam)섬에서도 이 Upflow 形 投入器로 弗化소다용액을 上水에 投入하고 있다.

#### 다) 弗化物 投入器의 選擇의 有意點

弗素의 投與는 精密하게 調節되어야 한다. 化學的 投與裝置는 투여하는 순간의 물의 흐름의 比率에 대해 弗素의 量이 調節되도록 설계되어야 하며, 정해진 양에서 0.1ppm 이상이나 이하가 되지 않도록 유지되어야 한다. 投與器가 誤動作을 하는 경우 弗素가 過量 投與되지 않도록 하는 安全裝置도 갖추어야 한다. 이외에도 弗化物 投入器를 選擇할 때 유의해야 할 점으로서 첫째는 어떤 弗化物을 사용할 것인가가 가장 중요하다. 一般的으로 大規模 淨水場에서는 上水道水 弗化事業費用의 대부분을 弗化物 購入費用이 차지하므로 가능한 한 저렴한 價格으로 購入할 수 있는 弗化物을 사용할 수 있도록 하는 裝置를 選擇하여야 한다.

## IV. 結 論

國民의 所得水準과 生活水準이 높아감에 따라 행복한 삶을 위한 必需品인 健康에 대한 관심이 날로 높아가고 있다. 이에 따라 一般大衆들이 마시는 상수에 있어서 그 主要任務는 단순히 물만을 供給한다는 의미를 벗어나 국민 의 건강까지 생각하기에 이르렀다. 이에 上水道水 弗化事業은 이러한 要件을 충분히 滿足시키는 것중의 하나라고 할 수 있겠다.

따라서 본 研究에서는 上水道水 弗化事業의 妥當性을 檢討하여 본 결과, 그 내용과 추후 연구하여야 할 사항은 다음과 같다.

1) 弗素를 投入하는 地域과 非投入地域을 주택, 상업, 그리고 APT지역으로 구분하여 弗素濃度를 측정하여 본 결과 투입지역의 평균 불소농도는 약 1.0ppm 미만으로 나타났으며, 非投入地域인 A의 경우는 自然弗素含量을 포함하여 약 0.1ppm 未滿으로 나타났다.

2) 불소농도는 지역에 따라 약간의 차이가 있지만 APT지역 물탱크에서 크게 나타났다.

3) 沈澱池와 濾過池사이에 불소를 투입하면 濾過砂에서 불소를 吸着하기 때문에, 弗素投入 선정지점은 濾過池와 消毒사이의 지점이 가장 적정하다고 판단된다.

4) 각 나라의 수질분포가 계절에 따라 다르기 때문에, 弗素의 溶解度등 여러 가지 사항이 문세시될 수 있다. 이문세에 대하여 장기간의 연구가 필요하다고 사료된다.

5) 弗化物 주입시 流量에 따른 定量投入이 없을 경우에 다량의 弗素가 상수에 함유될 가능성이 있으므로 投藥過程에 따른 定量投入을 위해 適定注入裝置의 講究가 先決되어야 한다.

6) 경제성으로 분석하여 볼 때 현재의 경우 1인 1일당 사용량이 적기 때문에 타당하나 앞으로 사용수량이 증가하게 되면 신중히 고려하여야 한다.

上記의 모든 結果를 綜合하여 볼 때, 市民의 患齒豫防을 위한 弗化事業은 施行하는 것이 바람직하지만, 본 研究는 짧은 기간내 施行된 研

究이므로 앞으로 濃縮試驗과 食卓調査等を 좀 더 충분히 檢討하여야 할 事項으로 思料된다.

본 논문은 경기도 안양시 상수도 사업소로부터 학술연구용역 지원에 의하여 연구되었으므로 이에 감사의 뜻을 표현합니다.

參考文獻

1. Water Fluoridation: A Manual for Engineers and Technicians. US Department of Health and Human Service, Public Health Service, Centers for Disease Control, Atlanta, GA, September 1986.
2. Drinking Water and Health. Safe Drinking Water Com. of Natl Res. Council, Natl. Acad. of Sciences, Washington, D.C. 1977.
3. Cook-Mozaffari, P & Doll, et al.: Fluoridation of Water Supplies and Cancer Mortality, I: A Search for an Effect in the U.K. on Risk of Death from Cancer. Jour. Epidemiol. & Comm. Health, 35: 227, 1981.
4. Cook-Mozaffari, P & Doll, et al.: Fluoridation of Water Supplies and Cancer Mortality, II: Mortality Trends After Fluoridation. Jour. Epidemiol & Comm. Health, 35: 233, 1981.
5. WHO, International Standards for Drinking Water, 3rd Edition, 1971.
6. "Chemistry of Fluorine and Its Compounds." In chemistry for Environmental Engineering, 3rd Edition Sawyer. C.N and McCarty. P. L., McGraw-Hill, 1978.
7. Hye-Won, Ahn, Barbara Fulton, Darran Moxon, Elizabeth H. Jeffery,: "Interactive effects of fluoride and aluminum uptake and accumulation in bones of rabbits administered both agents in their drinking water", Journal of Toxicology and Environmental Health, 44: 337-350, 1995.
8. Water Treatment Handbook, Black, A.P., J.Am. Dental Asso., pp.588~594, 1992.
9. Bundock, J. B. et al.: Fluorides, Water Fluoridation and Environmental Quality. Science and Public Policy, Canada, 1982. 6.
10. Fluoridation Census 1980. US Public Health Service, Centers for Disease Control, Atlanta, Ga. 1984, 1.
11. 조용모, "삼수중 불소(F-)투입에 관한 연구". 서울시정연구단포럼.
12. 김종배, 상수도 불소화사업에 관한 보고서, 1988.
13. 김신범, 김종배, "도시상수도 수불화사업의 효과에 관한 연구". 서울치대 논문집 제12권, 제2호, pp.1-12, 서울대학교 치과대학.