

상수관망해석시 유출량 변화에 따른 상수관로내 불소 농도 변화

Prediction of the Concentration of fluorine on Outflow at Analyzing Pipeline Network

김태경*, 이경훈**, 문병석***

Tae Kyoung Kim, Kyoung Hoon Rhee, Byoung seok Moon

1. 서 론

최근에 급속한 도시화, 공업화로 인하여 경제사회의 발달과 함께 인구의 도시 집중 현상과 산업 활동이 증가하게 되면서 물 소비량은 끊임없이 증가되고 있으며, 국민의 소득수준 향상과 생활패턴의 다양화는 단순하게 정수된 물을 공급받는다는 개념에서 맛과 냄새 그리고, 국민 보건증진 등의 문제들까지 해결된 양호한 상수 수질을 요구하고 있다. 음용수의 수질에 대한 국민들의 관심이 크게 고조되면서 보다 더 질 좋은 상수를 요구하게 됨으로서 상수도 시설물의 관리뿐만 아니라, 위생적이고 안전한 상수를 유지하면서 증가하는 수요량에 맞게 원활한 공급이 이루어지도록 해야 한다. 한편, 최근에는 음용수가 국민 구강 보건증진에 미치는 효과에 대해 연구가 활발하게 진행 중에 있다. 사람으로 하여금 불소이온을 섭취하게 하여 치아우식증을 예방하기 위한 목적으로 적절한 농도의 불소를 정수장에서 투입함으로써 각 가정에서 불소가 함유된 상수를 음용하게 하여 치아우식증을 예방하려는 연구가 증가하고 있는 추세이다. 그러므로, 본 연구에서는 관로내에서의 수질변화의 중요성을 인식하고, 국민 건강에 보다 더 효율적이고 위생적으로 안전한 상수 공급을 위하여 배수 관망내에서 EPANET 모형을 이용하여 잔류불소의 농도변화를 예측하여 시간적, 공간적 분포를 분석하였다. 또한, 상수도 불소화사업을 통한 치아우식증을 예방하기 위한 불소를 투입하였을때 상수 유출량에 따른 불소의 농도를 예측하여 적절한 양의 불소를 투입시킬 수 있도록 상수도 불소화사업이 미시될 되고 있는 대상지역에 대하여 불소농도를 변화를 예측하여 분석하였다.

2. 이론적 고찰

2.1 불소

불소는 원자량이 약 19.0으로서 화학주기율표에서 halogen으로 불리는 제 7족에 속한 원소이다. 불소는 수분이 존재하는 경우 용해되어 불소이온으로 되며 분자상태의 불소는 상온에서 매우 불안정하여 자연계에서는 발견되지 않으며 단지 불화물로서 존재할 뿐이다. 자연수에서의 불소농도는 극히 낮은 수준이나 불화물을 많이 함유한 암반층을 흐르는 지하수에서는 불소농도가 10ppm에 이르는 경우도 있다. 불소가 들어있는 수돗물을 마시게 되면 불소가 우리 몸에 흡수되어 치아의 표면층의 구성 성분인 수산화인석회내의 수산기와 불소가 치환반응을 일으켜 치아 표면을 산에 강하게 만들어 치아우식증을 예방하게 되며, 또한, 수돗물에 함유된 불소가 아주 미세한 우식병소에 침착되어 치아우식증을 예방하게 된다고 알려지고 있으며, 또한, 이 불소의 치아에 대한 작용효과는 물을 끓여 마시는 경우에도 전혀 변화가 없는 것으로 보고 되고 있다.

2.2 상수도 불소화사업

* 정희원 · 전남대학교 공과대학 토목공학과 시간강사 · ktk2028@hanmail.net

** 정희원 · 전남대학교 공과대학 토목공학과 교수 · khrhee@chonnam.ac.kr

*** 정희원 · 서남대학교 공과대학 토목공학과 조교수 · mbs0235@tiger.seonam.ac.kr

상수도 불소화사업이란 정수장에서 상수도수에 저농도의 불소를 투입함으로써 치아우식증(충치)을 예방하기 위하여 저농도의 상수를 통해 불소를 섭취하게 하여 수돗물의 불소농도가 적정하도록 조절하는 공중구강 보건사업이라 할 수 있다. 즉, 정수장에 불소투입기를 설치하여 우리가 마시는 수돗물에 일정한 농도(0.8ppm)의 불소가 자동적으로 투입하여 치아우식증을 예방하도록 하는 사업이다. 그림 2.1은 불소 투입시 처리과정 계통도를 나타내고 있으며, 그림 2.2는 정수장에 설치된 불소 투입 설비 장치 모습이다.

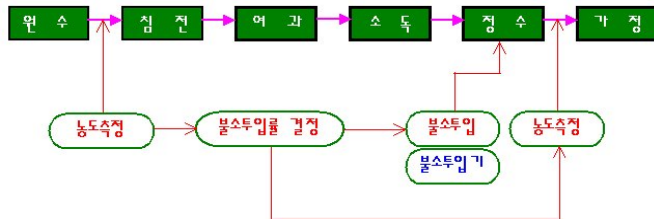


그림 2.1 불소 투입 계통도

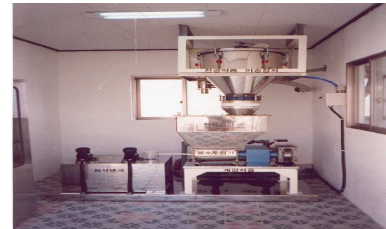


그림 2.2 불소 투입 설비 장치

2.3 불소농도 분포

각종 음용수의 불소 농도를 조사한 연구 자료에 의하면 우리나라의 전국의 상수 불소 이온 농도는 $0.269 \pm 0.232 \text{mg/l}$ 이었으며, 대부분이 $0.1 \sim 0.2 \text{mg/l}$ 의 범위에 있었으나, 충북 괴산군의 상수도가 1.16mg/l 로 비교적 높은 편이었으며, 상수도수 불소화를 시행하고 있는 충북 청주시와 경기도 과천시 각각 1.02 와 1.64mg/l 로 나타났다. 한편, 우리나라의 지하수의 평균불소농도는 $2.283 \pm 1.026 \text{mg/l}$, 약수의 불소농도는 $2.241 \pm 0.782 \text{mg/l}$ 로 조사되었으며, 지역별로 각각의 차이를 보이고 있다.

3. 대상지역 현황

3.1 대상지역의 현황

광주광역시 상수도 시설은 지속적인 경제성장과 더불어 국민들의 생활수준 향상과 인구증가, 도시화 및 공업화 등으로 급수량의 수요가 급격히 증가함에 따라 시설을 확장하여 1999년 12월 현재 5개구에 총 인구는 약 137만명, 급수인구는 약 130만명, 시설용량은 83만톤/day, 급수량은 40만톤/day, 보급률은 95.1%, 1인당 급수량은 309l/day 이다.

3.2 수질검사 결과

불소이온과 민감하게 반응하여 수질항목에 대해 대상지역인 광주광역시의 수질검사 결과를 일년 중 월별로 분석한 결과, PH는 기준치인 5.8~8.5 사이에 분포하고 있음을 나타내고 있고, 탁도는 월별 수질검사 결과로 기준치인 1 NTU에 미달하는 것으로 나타났다. 그 밖의 색도, 과망간산칼륨의 소비량 등 대상지역의 수질은 먹는 물 수질기준 농도에 모두 적합한 것으로 판단된다.

4. 입력자료 및 분석방법

4.1 입력자료

대상지역인 광주광역시는 1999년 12월말 현재 83만톤/day의 시설용량을 가지고 있으며, 광주광역시의 1일

평균 급수량은 39만톤에 달하고 있다. 수원에서 취수된 물은 정수장에서 직접 수용가로 급수되어지거나 배수지에 의해 배수관 및 급수관을 거쳐 공급되고 있다. 본 연구에서는 작은 직경의 관은 제외하고, 관경이 100mm이상의 관을 대상으로 모의하였으며, 밸브의 영향은 고려하지 않았으므로 밸브는 파이프로 간주하여 모의하였다. 광주광역시 관로의 총 연장은 약4,7623km이며 관 재질은 강관과 주철관이 대부분을 차지하고 있다. 손실수두 공식은 Hazen-Williams식을 이용하였고, 관의 총 개수는 735개이고 절점(Node)의 수는 625개로 나누었다. 또한, 조도계수는 매설 경과년수에 따라 100 ~ 120을 사용하였고, 총 모의 시간은 24hrs이다.

4.2 분석방법

불소농도를 예측할 대상지역은 현재 상수도 불소화사업을 시행하고 있지 않고 있어서 불소농도 실측자료를 구할 수 없으므로 모형을 적용 타당성을 검증하기 위한 반응상수 값을 결정하기 위해 먼저, 대상지역에 대한 잔류염소의 농도변화를 분석하고, 정수장 계통별 수리적 흐름특성 분석, 관내 정체에 따른 수질변화 분석, 체류시간에 따른 수질변화 분석 및 환경적 요인에 의한 수질변화 분석을 위해서 컴퓨터 시뮬레이션 모형인 EPANET 모형을 이용하여 상수관망에서의 수체의 수리 및 수질변화를 비교·분석하였다. EPANET 모형을 이용하여 예측한 잔류염소 농도와 수용가에서 채취하여 실측한 잔류염소 농도를 비교하여 반응상수를 보정하고, 상관분석과 평균제곱근오차(RMSE)를 구하는 등의 통계분석을 수행하여 EPANET 모형이 실제 현장에서 적용 할 수 있는지에 대한 적용 타당성을 검토한다. 실측치에 가장 가깝게 프로그램의 구성을 확정된 후, 대상지역에 대한 관망해석 자료를 이용하여 대상지역에 대한 불소 농도를 예측하여 본다. 그리고 불소 농도 변화에 영향을 미치는 수질 인자들에 대해 파악하고, 그 수질 인자들의 변화에 따라 불소 농도의 거동과 변화에 대해 분석한다. 일정한 불소 농도를 정수장에서 주입하였을 때 상수 유출량의 변화에 따라 불소농도의 변화에 미치는 영향을 파악하여 적절한 불소 농도를 유지함으로써 적절한 불소 주입농도에 따른 관로 내의 불소 농도를 파악한다. 상수의 유출량은 시간별로 불소농도를 예측하였을 경우는 일최대급수량을 사용하고 있는 8~10시 사이에 11%로 최대급수량을 나타냈을 때의 불소농도 분포와 일최저급수량을 나타내고 있는 2~4시 사이에 4.7%를 사용하였을 때의 불소농도 분포를 분석하였다. 한편, 일년 중 계절별로 유출량이 여름과 겨울철에 비교적 큰 차이를 나타내고 있으므로 봄과 가을을 기준으로 하였을 때 여름철의 유출량은 기준보다 1.1% 증가 시켰으며, 겨울철의 유출량은 기준보다 0.9% 감소시킨 일반적으로 사용하고 있는 증감 유출량을 적용하여 본 논문에서는 사용하였다.

5. 상수 유출량에 따른 불소농도 분포

5.1 시간별 상수 유출량에 따른 불소농도 분포

시간별 상수 유출량에 따른 불소농도 분포는 최대 유출량 발생시간은 오전 8~10시 사이로서 일최대급수량의 11%에 해당하는 유출량 값을 사용하였으며, 최소 유출량 발생시간은 2~4시 사이로서 일최대급수량의 4.7%에 차지하는 유출량 값을 적용하였다. 표 5.1과 그림 5.1은 절점번호 123의 24시간 불소농도 분포로서 일최소 상수 유출량을 보이는 2~4시의 불소 농도는 0.72mg/ℓ를 나타내고 있으며, 일최대 상수 유출량을 기록하게 되는 8~10사이의 불소 농도는 0.67mg/ℓ로 나타났다.

표 5.1 시간별 상수 유출량에 따른 불소농도 분포

절점번호	시 간 (hr)	상 수 유출량	불소농도 (mg/ℓ)	비 고
123	2 ~ 4	4.7 %	0.72	일최소 유출량
	8 ~ 10	11 %	0.67	일최대 유출량

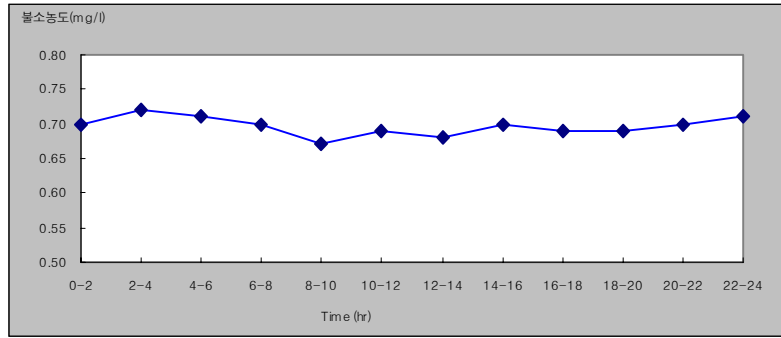


그림 5.1 시간별 상수 유출량에 따른 불소농도 분포도

5.2 계절별 상수 유출량에 따른 불소농도 분포

일년 중 상수 유출량의 비교적 큰 변화를 나타내고 있는 계절별 상수 유출량을 고려해 볼 때, 봄과 가을은 대체적으로 사용수량이 비슷하게 나타나고 있으므로 봄과 가을철의 상수 유출량을 기준으로 하여 여름철은 1.1% 증가시킨 유출량을 사용하고, 겨울철은 0.9% 감소시킨 유출량을 사용하여 불소농도 분포를 예측하였다. 표 5.2에 나타냈듯이 동일한 절점에서 상수 유출량을 증가시킨 여름철은 평균 불소농도가 0.56mg/l로 나타났으며, 상수 유출량을 감소시킨 겨울철의 평균 불소농도는 0.62mg/l로 여름철의 평균 불소농도가 겨울철보다 0.06mg/l 더 낮게 예측되었다. 그림 5.2는 표 5.2에 나타난 값을 도시한 것이다.

표 5.2 계절별 상수 유출량에 따른 불소농도 분포

절점번호	108	118	141	143	146	154	156	157	평균
봄·가을철 불소농도(mg/l)	0.70	0.56	0.57	0.54	0.59	0.55	0.61	0.62	0.59
여름철 불소농도(mg/l)	0.69	0.55	0.55	0.52	0.55	0.53	0.51	0.59	0.56
겨울철 불소농도(mg/l)	0.71	0.58	0.59	0.56	0.78	0.58	0.67	0.50	0.62

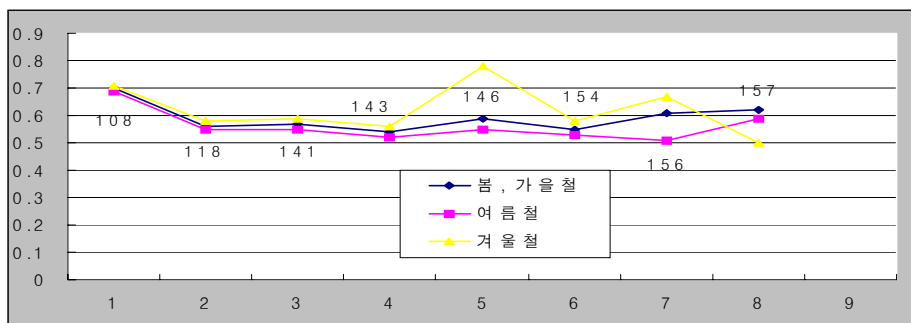


그림 5.2 계절별 상수 유출량에 따른 불소농도 분포도

6. 결 론

본 연구에서는 대상지역인 광주광역시의 불소 농도를 EPANET 모형을 이용하여 불소농도 변화에 대하여 예측하였으며, 상수유출량에 따른 시간적 및 계절적 불소농도 분포를 예측한 결과 불소 투입 권고 농도인 0.8mg/l의 불소를 정수장에서 주입하였을 때, 대상지역의 평균 불소 농도는 0.65mg/l로 나타나 음용수 수질

기준 농도인 1.5mg/ℓ 보다 낮게 예측되므로, 음용수 수질기준에 적합한 것으로 판단되나, 불소의 효과가 발휘되는 불소 농도 0.7~1.2mg/ℓ 보다는 다소 낮게 예측되었다. 시간별 상수 유출량에 따른 불소농도 분포를 예측한 결과, 일 최대 유출량이 발생하는 8~10시 사이의 불소농도는 0.67mg/ℓ 이고, 일 최소 유출량이 발생하는 2~4시의 불소농도는 0.72mg/ℓ 로 나타났으며, 일년 중 상수 유출량을 계절별로 분류하여 불소농도를 예측한 결과, 여름철의 평균 불소농도는 0.56mg/ℓ 로 나타났으며, 겨울철의 평균 불소농도는 0.62mg/ℓ 로 나타나 유출량이 상대적으로 많이 발생하는 여름철의 불소농도가 겨울철보다 더 낮게 나타나고 있으므로 상수 유출량을 고려하여 불소농도를 제어한다면 보다 더 효과적으로 치아우식증을 예방하는데 이용할 수 있을 것으로 판단된다. 국민의 생활수준이 향상되고 식습관이 바뀌어감에 따라 우리나라의 치아우식증 발생율은 계속적으로 증가하고 있는 실정이므로 국민 구강보건 문제에 대한 심각성을 이해하여 상수도 불소화사업에 대하여 긍정적으로 고려해야 하지만, 상수도 불소화사업은 사람의 인체에 직접적인 영향을 주는 만큼 현재 시행하고 있는 지역에 대하여 불소화사업을 통하여 얻을 수 있는 효과들에 대해 보다 더 구체적이고 정밀한 연구가 수행되어야 할 것으로 사료되며, 국민들의 식생활 습관 및 각 지역의 원수 및 지하수 등의 불소 함유량에 대하여 더 많은 조사를 실시함으로써 음용수에 함유된 불소농도가 최고의 효과를 거둘 수 있는 최적의 농도를 유지하는 방안에 대해서도 보다 더 활발하고 구체적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

7. 참고문헌

- 1) Ray k. linsley, Joseph B. Franzini, David L. Freyberg, George Tchoboglous, "Water-resources engineering", McGraw-Hill Inc, pp347~349, 1992.
- 2) Lewis A. Rossman, "EPANET USERS MANUAL", Risk reduction engineering laboratory office of research and development u.s. environmental protection agency Cincinnati, 1994.
- 3) 이경훈, 이삼노, 문병석, "상수도의 1일 급수량의 시간적 변화의 특성에 관한 연구", 한국 수문학회지, Vol. 27, No. 2, pp.135~143, 1994.
- 4) 주대성, 박노석, 박희경, 오정우, "불소를 이용한 상수관망 수리해석의 검증 및 보정", Vol. 12, No. 2, pp.76~82, 1998.