

대구·경북지역 마을상수도용 지하수의 수질과 주민의 경제비용에 대한 조사

강미아* · 정태경

안동대학교 환경공학과

Research on Groundwater Quality and Economic Expenses for Drinking in Daegu and Gyeongbuk Areas

Meea Kang* and Tae-Kyung Jeong

Department of Environmental Engineering, Andong National University

농업활동이 활발한 지역에서의 지하수 오염은 이를 이용하는 주민들의 경제비용을 증가시키고, 이로 인해 적절한 수처리기술을 도입하는데 있어 주민들의 부담이 증가한다. 지하수를 수원으로 하는 마을상수도의 수질 뿐 만 아니라 규모의 수준도 주민의 경제비용을 결정하는데 매우 중요한 인자로 작용한다. 즉 수질기준에 부적합한 지하수의 수질개선에 소요되는 비용을 지불하는 경우에, 지불비용과 수질개선 수준과의 관련성에는 마을상수도의 급수규모가 지불비용에 직접적인 영향을 미친다는 것이다. 따라서 마을상수도용 지하수를 대상으로 할 때, 수질부분에서 효율성을 높이고, 경제부분에서 절감할 수 있는 방법은 마을상수도의 수질과 규모를 고려하여 결정하는 것이다.

주요어 : 마을상수도, 지하수, 농업활동, 오염, 비용, 수질개선

Agricultural is recognised as being the leading contributor to groundwater. As a consequence, the consumer have to has bear the high expenses of water supplied to be treated. Importantly, the cost of water supplied is a function of the water quality as well as the scale of drinking water treatments. The relationship between the consumer payment and water quality improvement was affected by the scale of drinking water treatments directly. Hence when we achieve the high quality and low cost in the case of groundwater treatment for drinking, it is needed to consider both water quality and plant scale.

Key words : small drinking water system, groundwater, agricultural activities, pollution, expenses, water quality improvement

서 론

먹는물로서 이용되는 지하수는 수질과 수량적인 양 측면에서 사회적·정책적으로 매우 중요한 환경적 요소이다. 우리나라는 2006년 현재, 마을상수도로부터 수도 물을 공급받는 마을이 10,252개소이며, 이 중, 80% 이상의 수원이 지하수이다. 또한 전국 마을상수도 시설 중 경상북도가 차지하는 시설은 1,796개소로, 18.6%에 이른다(경북지역환경기술개발센터, 2008). 이것은 경북지역에서의 지하수는 매우 중요한 상수원 중 하나임을 알려주는 자료이다. 대구지역에서도 지하수를 수원으로

로 하는 마을상수도의 수질에 대한 안전이 완전한 것은 아니지만, 대규모의 도시로서 마을상수도가 보급하는 비율이 매우 낮으므로 본 연구에서는 경북지역을 중심으로 조사하였다.

먹는물로서의 안전성을 확보하기 위해 국가에서 수행하는 수질모니터링에는 탁도, 미생물군, 중금속류, 이온류 등 56개 항목으로 구성되어 질적 평가를 실시하고 있다. 지하수를 수자원으로 하는 마을상수도는 그 시설 대부분이 지하수를 양수하여 저장한 후에, 염소소독을 통한 간단한 안전장치를 수행한 후에 각 가정으로 공급되는 시스템으로 운영하고 있다. 이로 인해 오염된 지하

*Corresponding author: wdream@andong.ac.kr

수를 수원으로 하는 경우에는 다른 대응방안이 확보되기 전까지는 그 물을 이용하는 주민들은 안전한 먹는물 공급을 받을 수 없는 것이다. 지하수의 오염은 다양한 인간활동과 자연에서부터 발생하는 오염원에 의해 발생하며, 특히 농촌지역에서는 축산, 시비 활동 등이 인근 지하수를 오염시키는 주요 원인으로 알려져 있다. 우리나라의 먹는물 수질기준을 초과하는 마을상수도의 수돗물은 그 물을 이용하는 주민의 건강에 대한 안전성을 위협하고 있다고 판단하여 2005년 이후 마을상수도 정비사업을 추진하고 있으며, 이로 인해 점차로 마을상수도로부터의 수질안전성을 확보할 가능성이 증가할 것으로 보인다. 한편, 수질기준에는 적합한 수질로 판정되지만, 과잉의 경도성분으로 인해 세제사용의 불편, 가루성분의 용해에 대한 애로 등과 같은 생활 속 불편사항이 발생하여 주민의 삶에 대한 윤택성에 장애가 되는 경우가 많다. 이러한 특성을 지닌 지하수를 수원으로 하는 주민들이 보다 안전하고 보다 사용하기 적합한 수준의 물로 처리를 하고자 할 때 드는 경제적 비용에 대한 연구는 아직까지 활발하지 못한 실정이다.

세계적으로 여러 지역에서 보고되고 있는 지하수의 오염은 대부분이 질산성질소에 의한 것이며, 재래식 공정으로 처리하기 곤란한 질산성질소 성분을 제거하기 위해 나노여과막(Nanofiltration membrane) 또는 역삼투막(Reverse osmosis membrane) 등을 이용한 수처리기술이 개발되어 이용되고 있다(Green, M., Shelef, G., 1994; C. J. Martin et al., 1995; M. Shrimali et al., 2001; Meea Kang, 2003; A. S. Moros et al., 2007). 그러나 경북지역을 중심으로 이러한 기술을 살펴볼 때, 주민들의 경제적 부담을 해결해야 하는 과제가 발생한다. 이것은 수질측면에서 충분히 개선할 수 있는 기술요소를 갖추었다 하더라도 실제로 주민이 이용하기 위해서는 경제비용에 대한 평가가 함께 이루어져야 하는 것을 의미한다.

따라서 본 연구에서는 경북지역에서 실행되고 있는 막분리기술을 이용한 마을상수도 시범사업에 의해 설치된 군위군소재와 영주시소재의 두 마을상수도의 수질특성과 경제비용에 대해 분석하여, 향후 마을상수도의 시

설개선사업을 수행하는 지방자치단체에서 질적 개선을 위해 사용하는 기술을 도입하고자 할 때, 주민이 부담해야 하는 경제비용을 고려하여 실제로 사용하는 기술수준과 방법을 결정하는데 이용 할 수 있는 기초 자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

연구방법

조사대상 마을상수도로 선정된 지점은 각각 영주와 군위에 위치하고 있으며 앞으로 이를 영주(Youngju) 및 군위(Gunwi)로 표시한다. 이들 마을상수도에서 공급되는 수돗물의 수질을 분석하여 그 수준을 평가하고, 막여과설비 도입후의 수질개선 정도를 파악한다. 이에 지불된 수도요금에 주민의 경제비용 요소로 이용하였다. 수질분석은 먹는물 수질기준에 따라 계절별로 측정·분석하였으며, 수도요금에 의한 비용분석도 계절별로 구분하여 평균값을 이용하였다. 또한 조사대상 마을상수도에 설치된 분리막은 일본 Toray사에서 제공받은 UTC-70UB와 UTC-20모델이다. 보통 NaCl 제거율로 나노여과막의 물질제어능력을 나타내는데, 1 MPa, 50 mg Cl/L의 시료를 이용한 제거성능은 UTC-70UB의 경우에 90%, UTC-20의 경우에 54%로 조사되었다.

결과 및 고찰

마을상수도 설비 및 수질 특성

조사대상으로 선정된 영주 및 군위의 마을상수도 시설은 Table 1에 나타낸 바와 같이 2000년과 2007년에 설치되어 상대적으로 새 시설에 속한다. 급수인구는 영주가 370명, 군위가 72명이며, 공급수량은 각각 60 ton/day, 15 ton/day이고 심도는 각각 156m와 70m이다.

영주 및 군위의 지하수 수질조사 결과를 최고값, 최저값 및 평균값으로 정리하여 Table 2에 나타내었다. 먹는물 수질기준에 나타나있던 항목 중에서 검출되지 않거나 기준을 초과하지 않는 항목은 제외하고 나타내었다. 영주의 경우, 탁도, 질산성질소 및 경도성분이 기준을 초과하였다. 군위의 경우에는 경도성분이 기준을 초

Table 1. Characteristics of drinking water plants used for the study.

Site	Establishment (year)	Supplied (person)	Supplied Volume (ton/day)	Water Depth (m)	Chlorination Type
Youngju	2000	370	60	156	automatic
Gunwi	2007	72	15	70	manual

Table 2. Groundwater quality of Youngju and Gunwi.

Site	Item	Standard	Max.	Min.	Ave.
Youngju	Turbidity (NTU)	0.5	1.0	0.1	0.3
	Nitrate Nitrogen (mg/L)	10	18.3	8.30	13.9
	Hardness (mg/L)	300	321	170	216
Gunwi	Hardness (mg/L)	300	312	231	285

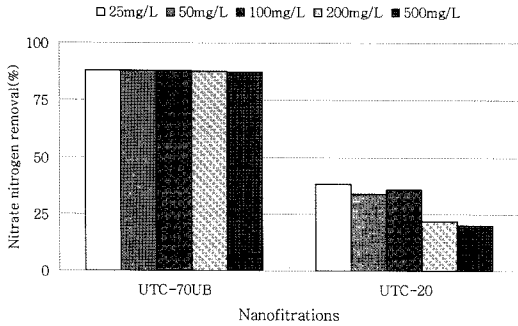


Fig. 1. Impact of its concentration on nitrate removal by nanofiltrations.

과한 횟수가 많아 평균값이 기준 300 mg/L에 근접하는 285 mg/L로 나타났으며 이로 인해 생활 중 불편사항이 주민들의 불만이였다.

나노여과막의 특성

대상마을상수도의 수돗물 수질개선을 위해 영주 및 군위에 설치한 나노여과막을 이용하여 NO₃-N의 제거성능을 NO₃-N의 농도에 따라 실험하여 그 결과를 Fig. 1에 나타내었다. 두 나노여과막 모두 NaCl의 제거성능은 50 mg/L에서 500 mg/L까지 동일한 성능(UTC-70UB ; 90%, UTC-20 ; 54%)을 나타내었다. 그러나 NO₃-N에 대한 제거성능은 나노여과막에 따라 큰 차이를 나타내었는데, 영주에 설치한 UTC-70UB에 의한 NO₃-N의 제거율은 NO₃-N의 농도에 의해 영향을 받지 않은 한편,

군위에 설치한 UTC-20에 의한 NO₃-N의 제거율은 NO₃-N의 농도가 100 mg/L 이상이 되면 그 보다 작은 농도에서보다 NO₃-N의 제거율이 50% 정도 감소하였다.

수질개선효과에 대한 평가

연구기간에 수집한 자료 중에서 2008년-2009년 사이의 수질수준을 막여과설비의 도입전 후로 구분하여 수질개선효과를 평가하였다. Table 3에서 보는 바와 같이 영주에 설치한 나노여과막은 질산성질소, 경도 및 증발잔류물의 제거효율이 78-84%로 높게 나타났고, 탁도의 경우에는 원수자체의 오염수준이 매우 낮았으므로 제거효율이 52%로 낮게 나타난 것으로 해석된다. 군위에 설치한 나노여과막은 경도와 증발잔류물의 제거에 매우 우수한 효과가 있는 것으로 판단된다. 이 결과로부터 지하수의 오염으로 인해 새로운 기술을 도입하고자 할 때에는 오염원의 주요원인을 파악한 후에 적절한 설비를 하는 것이 매우 중요하며 가능한 방법임을 알 수 있다.

경제비용평가

영주와 군위에 설치한 막여과설비 운영에 따라 주민이 지불하는 경제비용은 전기요금으로 평가하였다. 주민이 지불하는 전기요금에는 지하수펌프사용에 따른 동력비, 막여과설비운영을 위한 동력비 및 설비유지를 위한 난방비가 포함되어 있으며, 초기투자비용은 제외하였다.

영주와 군위 마을상수도를 이용하는 주민전체가 막여과시설 도입 전 · 후에 지불한 수도요금을 계절별로 구

Table 3. Improvement of groundwater quality by nanofiltrations.

Site	Item	Standard	Before	After	Removal (%)
Youngju	Turbidity (NTU)	0.5	0.31	0.15	52
	Nitrate Nitrogen (mg/L)	10	13.9	3.10	78
	Hardness (mg/L)	300	216	40	81
	Non-Volatile Residues (mg/L)	500	299	49	84
Gunwi	Hardness (mg/L)	300	285	N.D.	100
	Non-Volatile Residues (mg/L)	500	430	N.D.	100

※ N.D. : Not detected

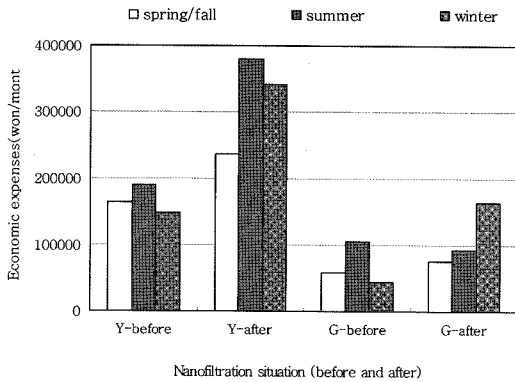


Fig. 2. Change of economic expenses using nanofiltration membranes.

분하여 Fig. 2에 나타내었다. 영주 주민은 370명으로써 막여과시설 도입 전에는 월 기준 167,000을 지불하였으며 막여과시설 도입 후에는 월 기준 319,000원을 지불하였으므로 지불비용이 약 192% 증가하였다. 한편 군위 주민은 72명으로써 막여과시설 도입 전에는 월 기준 69,000원을 지불하였고 막여과시설 도입 후에는 월기준 110,000원을 지불하였으므로 지불비용이 약 196% 증가하였다. 동절기에 지불비용이 영주와 군위에서 각각 230%, 370%로 발생하는 것은 난방비용에 사용된 동력이 원인이다. 기본적인 설비의 유지를 위해서는 급수량이 적은, 급수인구가 적은 지역에서 증가비율이 매우 증가하는 경향을 보이는 것은 규모의 경제를 논하는 것과 같은 논리로 해석된다.

한편, 영주에서는 춘/추절기에 비해 하절기에 물사용량이 급증하여 하절기에 경제비용이 많이 지불되지만, 군위에서 하절기에 막여과시설도입후에 오히려 경제비용이 감소하였다. 이것은 지역주민의 노력에 따라 경제비용의 감소를 달성 할 수 있는 가능성을 시사한다.

한편 개인당 지불비용을 살펴보면, 영주의 경우에는 450원/월·인에서 860원/월·인으로 약 200% 가까이 증가하였으며, 군위의 경우에는 960원/월·인에서 1500원/월·인으로 약 160% 증가하였다. 이것은 사용하는 물량의 절약으로 소규모에서 발생하는 비용을 절감할 수 있었기 때문으로 해석된다.

질산성질소로 오염된 지하수에 대한 대처방안

질산성질소를 비롯한 질소화합물은 농촌지역에서 발생하는 오염물질 중에서 매우 중요한 물질이다. 농경지 유출에 의한 질소성분 중에서 질산성질소가 이동성이 큰

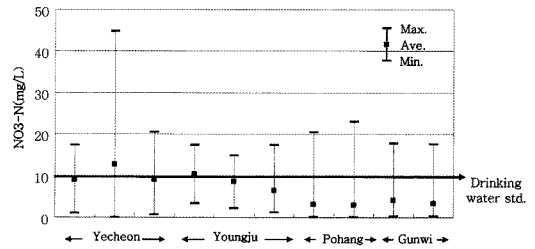


Fig. 3. Change of nitrate nitrogen of drinking water treatment plants in GB area.

것으로 보고 된 연구결과(이치타오 등, 2008; Mee Kang et al., 2009)에서 알 수 있듯이 지하수 중에서 검출되는 질산성질소의 농도는 동일한 곳에서도 편차가 크다. 경북지역에서 사용하는 지하수원의 마을상수도에서 공급하는 수도물 중에서 특히 편차가 큰 지역의 질산성질소농도 수준을 Fig. 3에 나타내었다. 검출된 질산성질소의 표준편차가 제일 큰 곳은 예천지역의 마을상수도로써 최고 45 mg/L에서 최저 불검출의 수준까지 발생되어 지하수자원의 관리가 매우 어려운 과제를 알게 한다.

한편 Fig. 4에는 조사대상 마을상수도인 영주에서의 7년간(2002년-2008년)의 질산성질소 오염도 자료를 정리하여 그림으로 나타내었다. 2002년에 10 mg/L의 수준 가까이 검출된 이 마을상수도는 2004년부터는 이미 수질기준이 초과된 물을 계속 이용하여 왔다. 따라서 대구를 포함한 경북지역의 수질자료를 분석하여 우선순위를 합리적으로 정하여 수질개선사업을 수행할 때 경북도민의 건강안전성을 확보하기가 용이할 것으로 보인다.

결 론

사회적으로 약자의 입장에서 소에너지 사용으로 먹는 물의 질적 향상을 도모하기기 위해서는 수처리기술을 도입할 때에 주민의 경제비용을 고려할 필요가 있다. 주민의 생활 속에서 차지하는 비율과 이에 대한 이해가 기술의 효율적 운영을 가능하게 하기 때문이다. 본 연구에서 수행한 나노여과막을 이용할 경우, UTC-70UB 막은 원수 중의 질산성질소 농도가 83 mg/L 까지 안전한 수질의 수준으로 처리가능한 한편, UTC-20 막은 질산성질소 농도가 원수중에 15 mg/L를 초과하면 안전한 수도물 공급이 불가능하다. 따라서 경상북도를 포함한 지하수를 상수원으로 이용하는 마을상수도에 막여과설비를 도입하고자 할 때에는 이러한 수질관련 매트릭스를 충

