

인천 지역 약수터의 오염에 대한 연구

김경애·이병옥·김오목·허명제·김경태·노재일·최춘석·고종명·김용희

인천광역시보건환경연구원

A Study on pollution of spring in Incheon Area

Kyung-Ae Kim · Byung Ok Lee · Ou Mok Kim · Myung Je Hur · Kyung Tae Kim · Jae Il Ro ·

Choon Suck Choe · Jong Myoung Go · Yong Hee Kim

Incheon Research Institute for Public Health & the Environment

Abstract

In order to investigate water pollution of spring, we carried out the experiments on mineral water, rainwater and surrounding soil of several springs collected in Incheon area from February to August in 2007. The results were as follows.

1. Soil : This study investigated the pH and organic matter contents in the soil which effect on microorganisms. The pH value was from 4.5 to 5.3 on average and organic matter contents ranged from 1.09% to 5.6% and *E. coli*, *K. pneumoniae*, *S. faecalis* and other microorganisms were isolated.
2. Natural mineral water : As the rainfall increased, the concentration of $\text{NO}_3\text{-N}$, consumption of KMnO_4 and the number of microorganisms was increased while the other physicochemical items were not affected. The microorganism isolated in the natural mineral water were as follows: *E. coli*, *K. oxytoca*, *S. faecalis*, *S. facium*, and so on from evacuation; *E. agglomerans*, *E. amnigenus*, *E. cloacae*, *E. sakazakii* and so on from the environments and evacuation. Detection of these microorganisms shows that the environment around the spring had been exposed to excrements of the warm blood animal.
3. Rain : The coliforms in the rain were the identical one detected from the mineral water and the soil.

In conclusion the quality of natural mineral water is influenced by rain, resident bacteria of soil and surrounding environment. This study will be the basic data of characteristics of spring in Incheon area and also this result will give useful aids for the efficient control of spring.

Key words : spring, mineral water, rainwater, soil, microorganisms

*Corresponding author E-mail : 98kyungku@hanmail.net

I. 서론

약수란 약효를 가지고 있는 물로 보통의 물보다 탄산가스와 산소 등이 많으며 철분, 칼슘, 마그네슘 등 다양한 미네랄이 포함되어 있어 일부 질병에 효과가 있는 것으로 나타나 있다. 대표적으로 충북 청원군의 초정약수와 강원도의 오색약수 그리고 경북 청송의 신촌 약수를 들 수 있다. 하지만 요즘은 시민에게 먹는 물을 공급할 목적으로 개발하거나 여과 및 침전이 잘 된 지표수 그리고 도시외곽 산지의 등산로를 따라서 자연적으로 솟아나오는 모든 샘을 지칭하고 있다. 이처럼 약수의 개념이 변화된 것은 비록 약효를 가지고 있지는 않으나 화학약품이나 살균 소독과 같이 인위적으로 처리한 물 보다는 자연에서 생성된 물이 건강에도 좋을 것이라 생각하여 약수라고 부르는 것으로 보인다.¹⁾

인천은 노년기 지형으로서 부평구 지역을 제외한 대부분의 지역이 낮은 구릉지를 이루고 있는데 이러한 지형조건은 수계의 발달이 미약하고, 유역면적이 매우 협소하며, 지하수 함량에 불리하다.²⁾ 2007년 6월 인천의 관내 약수터는 69개소로 1일 이용 50인 이상 지정약수터 48개소, 1일 이용 50인 미만 미지정 약수터 21개소가 있다. 이들 약수터는 '먹는물공동시설'로 칭하며 시장·군수·구청장에 의해 관리대상으로 지정하여 정기적인 수질검사, 주변청소 및 시설 보수 등을 통해 적절하게 관리하여야 한다.³⁾

환경부에서 발표한 2006년도 4/4분기 약수의 부적현황에 대해 전국과 인천지역을 비교해 보면 미생물에 의한 부적합 기여도가 90%를 크게 상회하여 전국 98%, 인천 98.5%로 나타났고, 그 중 총대장균군에 대한 부적합이 전국 74.9%, 인천 68.9%로 가장 높게 나타났다. 그리고 지난해 69곳 지정·미지정 약수터의 수질검사 결과를 계

절별로 나타내면 5월부터 부적합률이 높아져 12월까지 전체 약수터의 절반 이상이 음용하기에 부적합한 것으로 발표되었다. 특히, 작년의 경우 3월을 제외하고 부적합률이 높게 나타났는데 이는 지난해 12월에서 1월까지 인천의 평균기온이 영상 1.6℃로, 과거 100년간 겨울 기온 중 가장 높았던 것과 연관 지을 수 있다. 이와 같은 현상은 매년 되풀이되며 부적합률 또한 증가하는 추세로 약수터 수질의 안전성에 대한 전반적인 조사가 필요하게 되었다.

이에 본 연구는 약수터 부적합의 주 원인인 미생물 항목에 대한 오염을 조사하기 위해 강수 전의 토양, 약수와 강수 후 약수를 채취하여 약수에 유입될 수 있는 강수와 토양의 이화학·미생물학적 항목과 세균 증식과의 영향을 조사하였다. 그리고 비교적 안정된 수질을 유지하고 있는 약수터를 대상으로 관리상의 특이성과 함께 약수터 주변 환경 및 시설간의 차이가 있는 약수터의 수질 상태를 조사하여 약수를 보다 안전하게 이용하기 위한 적절한 관리 방안을 마련하고자 한다.

II. 연구방법

1. 연구대상

조사대상지 선정은 연간 미생물 수질 검사 결과, 적합 또는 부적합률이 높은 약수터가 인접한 지점, 지리적으로 인접하면서 수원이 상이한 지점, 강수에 의한 대기 및 토양 중의 미생물·이화학적 조사를 위해 남구 3개소 인화, 할아버지, 연경산 약수터를 선정하였다.

또한 인천지역 약수터 가운데 평균 부적합률이 낮은 강화군 약수터를 대상으로 안정된 수질을 유지하는 방법 및 관리상태 등 약수터의 특성을 조사하고, 주변 환경 및 시설 간 차이가 있는 약수터인 부평구의 청

Table 1. Characterization of spring used in this study

No.	Name	Location	Catchment well	Style of supply	Water state
1	Inhak	NamGu Munhaksan 68-2	yes (small)	rubber hose	running
2	Halabeoji	NamGu Munhaksan 68-2	no	pipe	running
3	Yeonkyeongsan	NamGu Munhaksan 68-2	yes	pipe	running
4	Hobulsa	Cheongryangsang 65-2	no	spring	still
5	Cheongcheon	Jangsusan 55-110	unknown	pipe	running

천과 연수구의 호불사를 통해 수질에 미치는 영향을 파악하였다. 또한 하절기에 지속적으로 미생물에 오염되는 약수터의 특성을 토대로 집수정(集水井) 소독이라는 적극적인 위생조치를 통한 수질 상태를 조사하였다.

조사 지점별 특성은 Table 1과 같으며 시료채취 기간은 2007년 2월부터 8월까지 수행하였다. 또한 수질검사 결과는 인천보건환경연구원('04년~'06년)에서 제시된 것이며, 강수량 측정은 비가 그치는 순간까지 수일간의 전량을 표시한 것이다.

2. 연구방법

약수 수질에 영향을 미치는 요소 가운데 강수는 총 14회를 채수하여 일반세균수와 총대장균군을 측정하였다. 토양은 총 7회 채취하여 pH, 수분, 유기물, 총질소, 암모니아성질소, 총대장균군수 및 동정, 그리고 분원성연쇄상구균 등을 조사하였고 약수는 총 30회를 채수하여 이화학적 9항목과 미생물학적 항목을 측정하였고 청천과 호불사 약수터는 이화학적으로 수온, 수량, 전기전도도, 미생물학적으로 일반세균과 총대장균군을 측정하였다. 모든 시료의 분석은 먹는물수질공정시험방법⁴⁾과 수질오염·폐기물·토양오염공정시험방법⁵⁾에 준하여 실험하였다.

2.1. 약수

약수의 경우 수량 변화 및 약수터 주변 환경의 인위적 요소에 따른 수질 상태를 조사하기 위해 이화학적으로 암모니아성질소 등 9항목과 미생물학적으로 일반세균(Total bacteria)과 총대장균군(Coliforms), 분원성연쇄상구균(Fecal streptococcus 또는 Enterococcus)을 조사하였다. 약수는 무균 채수병을 사용하여 채수하였고, 총대장균군의 정량과 동정을 위해 시험관법(Multiple-fermentation-tube method)과 막여과법(Membrane filter method)을 동시에 수행하였다. 막여과법은 공경 0.45 μ m, 직경 47mm크기의 미생물 분석용 여과막을 사용하여 약수를 여과한 후 Chromocult coliform agar(Merck, USA)에 배양하였다. 이 배지는 효소 발색법을 이용하여 총대장균군과 비총대장균군(non coliforms)을 집락의 색깔로 구분하며 배양된 집락을 TSA(Tryptic soy agar, Oxoid, England) 배지에 옮겨 API 20E kit(Biomérieux, France)로 동정하였다.

2.2. 강수

강수는 입구가 넓은 멸균된 병에 채취하여 먹는물수질공정시험방법⁴⁾의 총대장균군

시험관법에 따라 측정하였다.

2.3. 토양

토양은 약수터 주변 지역 5곳을 선정하여 표토 10cm를 걷어낸 후 시료를 채취하여 균질화시켜 이화학 분석용 시료로 사용하였다. 검사 항목은 토양 미생물과 수질에 영향을 주는 pH, 유기물, 질소화합물 등으로 농업과학기술원 토양화학분석법(RDA-ASD)에 준하여 실험 하였으며, pH는 토양과 증류수의 비율을 1:5로 희석하여 전극법으로 분석하였다. 미생물 항목은 채취한 토양을 멸균된 증류수에 10배 희석하여 진탕기에 진탕시킨 상등액을 분석시료로 사용하였으며 토양의 총대장균군 동정과 균수 조사를 위해 시험관법인 최적확수시험법(Most probable number: MPN)을 사용하였다.

2.4. 주변 환경 시설 및 관리 조사

수질 검사 결과 안정된 수질이 유지되고 있는 강화군 소재의 약수터를 대상으로 관리상의 특이성과 약수터 주변 환경 및 시설에 따른 수질 차이를 조사하였다.

2.5. 집수정(集水井) 소독효과 조사

대부분의 먹는물 공동시설은 수질검사 결과 부적합 판정을 받거나 수인성 전염병이 우려되는 하절기에 주변청소 및 소독을 실시하도록 되어있으나 집수정에 대한 직접 소독은 실시되지 않고 있다. 따라서 남구 3개소 약수터 가운데 집수정을 갖춘 연경산 약수터를 대상으로 소독 후 시간 경과에 따른 세균 변화 추이를 관찰하고자 소독제(차아염소산칼슘: $\text{Ca}(\text{ClO})_2$)를 직접 투입하여 잔류염소 농도를 측정하고 미생물 검출 여부를 조사하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 약수의 수질 특성

1.1. 물리적 특성

약수의 수원이 지표수에 영향을 받는지를 알아보기 위해 건·우기 동안의 수량을 측정하였고 하절기의 수온 상승에 따른 미생물 증식 영향과 강수 유입에 따른 전기전도도 변화를 알아보았다.

약수의 수량은 강수량에 따라 증가하였는데 강수 전·후 인화 약수의 수량이 최저 58 ml/sec에서 최고 158ml/sec, 할아버지 약수는 0.7~27.8ml/sec 그리고 연경산 약수는 16~400ml/sec로 수량의 변화가 뚜렷하였고 100mm 내외의 집중 강수가 내릴 경우 수량 변동 역시 커져 약수에 강수가 유입된 것을 확인할 수 있다. 수온은 인화 약수에서 최저 10.5℃에서 최고 16℃, 할아버지 약수는 8.8~16.5℃, 연경산 약수는 8.2~16℃로 하절기의 기온 상승과 함께 수온도 높아지는 것을 볼 수 있다. 전기전도도 평균을 강수 전·후로 살펴보면 인화 약수는 강수 전 166μS/cm에서 강수 후 152.6μS/cm, 할아버지 약수는 136.7μS/cm에서 132.7μS/cm, 연경산 약수는 117.1μS/cm에서 110.4μS/cm로 조금씩 낮아진 것을 확인할 수 있다. 강수가 약수에 유입되면 수량이 증가하여 무기물질의 총량인 전기전도도가 낮아지는데 이것은 강수 유입으로 약수의 순환주기가 짧아져 암석과의 반응이 충분하지 않기 때문이다.⁶⁾ 강수의 화학적 특성을 분석한 연구에서 강수는 평균 11.42μS/cm의 낮은 전기전도도를 나타내는데 강수 유입에 의한 약수의 전기전도도 감소를 뒷받침해 주고 있다.⁷⁾ 강수 후 인화와 연경산 약수의 증가된 수량과 전기전도도를 비교해보면 인화 약수는 수량이 2.7배 증가한데 비해 연경산 약수는 25배나 증가한 것을 볼 수 있다. 그리고 전기전도도는 수량과 달리 연경산에 비해 인화의 감소 폭이 조금 더 컸는데 이러한 결과는 각각 약수터의 지리적 위치 및 약수의 수원에서 찾을 수 있다. 인화 약수는 건기 시 최저일 때도 58ml/sec로 풍부한 수량을 갖고 있으나 미생물 오염이 빈번하고 우기 시 수질 부적합

이 수개월간 지속되는 특성을 갖고 있다. 또한 문학산 및 타군에 소재한 여러 시설의 약수터에 비해 전기전도도가 높는데 이것은 인화 약수의 주 수원이 지하수라는 것을 짐작케 한다. 지하수는 빗물이나 지표수가 지층을 통과하여 지하에 보존되어 있는 물로 지층을 통과할 때 토양의 이온 교환 능력에 의해 비교적 깨끗한 상태로 존재하며 경도와 무기물질의 농도가 높고 미생물과 오염물이 적은 특성을 갖고 있다. 하지만 인화 약수터는 미생물에 의한 높은 부적합률을 보이는데 이것은 약수의 수원이 지하수와 함께 지표수가 유입되는 것으로 높은 전기전도도, 건기 시 풍부한 수량, 그리고 강수 후 증가하는 수량으로 확인할 수 있다. 연경산은 인화 약수터에 비해 약 50 μ S/cm 정도 전기전도도가 낮고 우기 시 수량이 무려 25배가 증가하는데 이것은 연경산 약수의 수원이 지하수가 아닌 지표수에 영향을 받고 있다는 사실을 보여준다. 할아버지 약수터는 인근에 소재한 다른 약수터에 비해 수질 상태가 양호하고 안정적인 반면, 수량이 적으며 다른 약수터와 같이 집중 강수 후 급격한 수량 증가로 강수 유입을 확인할 수 있다.

1.2. 이화학적 특성

주변 환경오염을 파악할 수 있는 암모니아성질소, 질산성질소, 과망간산칼륨소비량, 염소이온, 황산이온 항목과 강수 또는 가뭄 등 수량변화에 따른 경시적이나 연간 수질변화를 볼 수 있는 pH, 증발잔류물, 탁도, 경

도를 건기인 2~5월과 우기인 6~7월로 나누어 비교하였다.

주변 환경오염으로 자연계의 동물성 유기물이 세균에 의하여 산화분해 되는 과정의 초기 단계에서 발생하는 암모니아성질소⁸⁾는 약수터 주변 토양으로부터 약수 출구까지의 체류시간이 짧은 관계로 값의 변화가 극히 미미하였고 동물성 유기물질이 세균에 의하여 산화 분해되어 암모니아, 아질산을 경유하여 생성된 최종 분해산물인 질산성질소(Fig.1)와 유기물을 산화시키는데 소모되는 과망간산칼륨소비량⁹⁾(Fig.2)은 우기 시 평균값이 높아져 강수로 토양표층의 유기물이 유입된 것을 알 수 있었다. 염소이온 농도는 일정한 값을 보여 토양 중에 농축되지 않고 일정하게 분포되어 강수에 영향을 받지 않는 것으로 보이며, 지질의 영향을 받는 황산이온은 Fig.3과 같이 약수의 수원이 지하수에 높게 의존되는 인화 약수에서만 일정한 값을 보이고 할아버지와 연경산 약수는 우기 시 평균값이 높아져 지표수에 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

강수와 가뭄으로 수량변화에 의한 수질변화를 조사하기 위해 pH, 증발잔류물, 탁도, 경도를 측정 한 결과 강수 시 개별 항목에 대해 일시적 변화는 있었으나 전체 평균값은 일정하여 타 검사항목에 비해 영향을 적게 받는 것으로 조사되었다. 이를 토대로 볼 때 약수의 이화학적 수치는 약간의 변화는 관찰되나 수질 기준에 적합한 범위로 약수에 미치는 영향이 적은 것을 확인하였다.

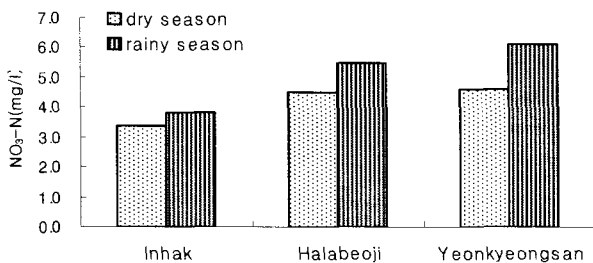


Fig.1. The variation of NO₃-N measured from the natural mineral water

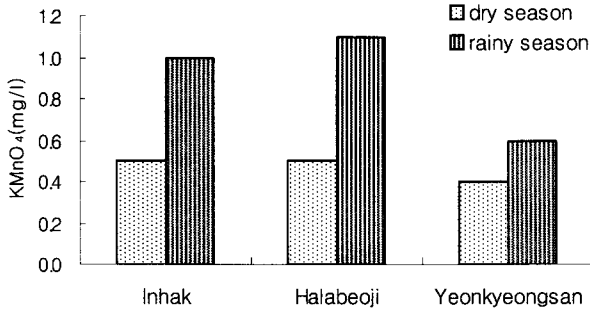


Fig.2. The variation of KMnO₄ measured from the natural mineral water

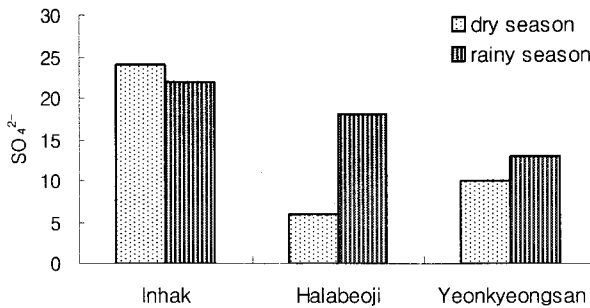


Fig.3. The variation of SO₄²⁻ measured from the natural mineral water

1.3. 미생물학적 특성

1.3.1. 일반세균과 총대장균군

각각의 약수에 대한 일반세균과 총대장균군(MPN법)을 정량하여 Fig. 4에 나타내었다.

일반세균이란 보통 한천배지에서 집락을 형성하는 세균으로 대장균, 병원성 및 비병원성 세균, 사상균, 효모 등 모든 균을 말한다. 일반세균은 그 자체가 인체 내에서 직접적으로 병을 일으키는 경우는 거의 없지만 많은 균수가 존재할 경우 배탈과 설사를 일으킬 수 있는데, 이는 원래 인간의 대장에서 소화를 돕는 미생물과 경쟁해 균집을 변화시키기기 때문이다. 또한, 수돗물이 전염성 병원균으로부터 안전한가를 판정하는 기준으로 멸균 및 소독 잔류성 판단의 척도로 이용되고 있다. 총대장균군 역시 그 자

체는 인체에 유해하지 않지만 분변오염을 나타내는 소화기계 병원균의 오염 가능성을 추정할 수 있는 지표이며 일반세균과 총대장균군은 먹는물 수질기준에서 각각 '100CFU/ml 이하'와 '불검출/100ml'을 요구하고 있다.⁹⁾

남구 3개소 약수터의 일반세균 측정 결과, 채수 기간 동안 적합한 결과를 나타내었는데 인학 약수는 0CFU/ml에서 최대 97CFU/ml로 50mm이상의 강수 후 기준치에 근접한 수준으로 측정되어 지표 오염의 유입으로 균수가 증가한 것을 확인할 수 있었다. 할아버지 약수는 채수 기간 동안 낮은 일반세균수를 보여주었고 연경산 약수는 4월에 일시적으로 증가한 것을 제외하고 인학 약수와 동일한 결과를 보였다. 일반세균의 경우 채수기간 동안 먹는물 기준에 적합

한 범위 내에서 증감한 반면, 총대장균군은 빈번하게 검출되어 부적합한 수질 상태를 보였다. 강수 전·후 지표수 유입에 따른 총대장균군수 증감을 통해 오염물 유입량을 확인한 결과 3개소 약수터 모두 강수 전에 총대장균군수가 정량되지 않거나 낮은 농도를 보이다가 강수량이 50mm 이상 증가하면서 최대 240/100ml(MPN)까지 정량되어 약수의 총대장균군 유입량을 상대적으로 확인할 수 있었다.

강수량에 따른 약수의 총대장균군 검출은 Table 2와 같다. 100mm내외의 강수가

지속적으로 내릴 경우 총대장균군 검출률이 100%에 달했으며 50mm내외의 강수 시 할아버지 약수터를 제외하고 50%이상의 검출률을 보였다. 할아버지 약수터는 지리적으로 상단에 위치하며 상대적으로 적은 수량이 이용객수에 영향을 미쳐 다른 약수터에 비해 검출률에 차이가 있는 것으로 보인다. 하지만 지리적으로 수용할 수 없을 정도의 강수가 내릴 경우 어떠한 작용도 이뤄지지 않는 것을 100%에 달하는 총대장균군 검출률과 40배가량 증가한 수량을 통해 확인할 수 있다.

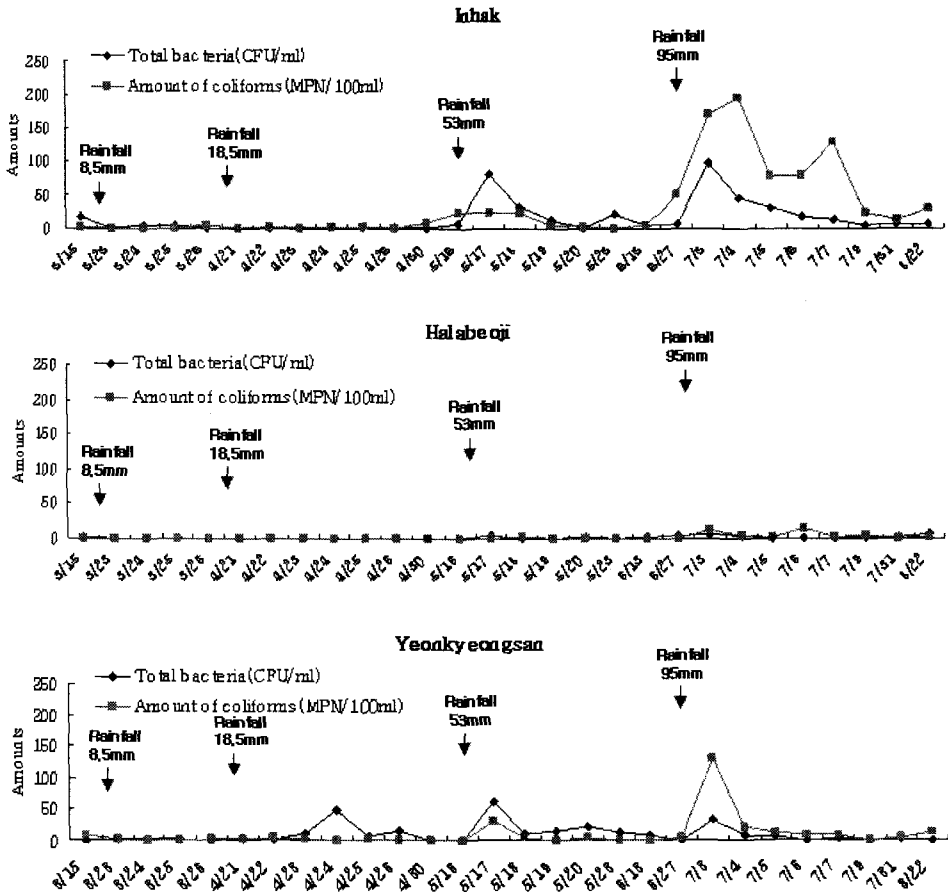


Fig. 4. The variation on the microbiological items of before and after the rainfa

Table 2. Detection of coliforms according to rainfall

Name	About 20mm	About 50mm	About 100mm
Inhak	6/14*(42.9%)**	7/8(87.5%)	6/6(100%)
Halabeoji	0/14(0.0%)	1/8(12.5%)	6/6(100%)
Yeonkyeongsan	9/14(64.3%)	4/8(50.0%)	5/6(83.3%)

* No. of detected samples/No. of total samples

** () : Detection rate

1.3.2. 총대장균군 및 분원성연쇄상구균

총대장균군이 분변 오염의 지표로 항상 오염원과 공존하여 분포하지만 자연계에는 이와 같은 생리적 특징, 즉 대장균과 마찬가지로 유당(lactose)분해능을 가진 세균들이 있어 위양성(false positive)의 문제가 제기되며 수질을 실제보다 나쁘게 평가하게 된다.¹⁰⁾ 총대장균군은 자연환경형(식물, 토양, 물 등 자연에 존재), 분변유래형(사람, 동물 등의 분뇨에 존재), 그리고 중간형(분변 및 자연에 존재)으로 분류되며, 약수를 각각의 총대장균군으로 구분한 결과는 Table 3과 같다.¹¹⁾ 동정된 총대장균군은 자연환경형균으로 *Serratia* 속과 *Hafnia* 속 균, 분변유래형균으로 *Escherichia* 속과 *Klebsiella* 속 균, 그리고 중간형으로 *Enterobacter* 속과 *Citrobacter* 속 균이 모두 동정되었다. 이로써 약수의 총대장균군에는 자연환경과 인위적 오염에서 유래한 균이 동시에 존재하고 있음을 알 수 있었다. 동정된 분변유래형균을 약수터 별로 비교해 보면, 총 30회 검사에서 인학 약수터는 22회 검출, 할아버지 약수터는 9회 검출, 연경산 약수터는 10회 검출되었는데 인학 약수에서 가장 높은 비율로 검출된 것을 확인할 수 있다. 인학 약수터에서 분변유래형균 검출이 높은 것은 채수구가 다른 약수터와 달리 파이프가 아닌 긴 고무호스로 되어 있어 채수병 안에 호스를 주입하여 채수

하므로 채수병 입구로부터 오염이 발생되고, 호스에 계속적으로 사람의 손이 접촉하게 되어 미생물에 노출될 위험 요인이 높다. 또한, 분변유래형균의 검출은 약수터 주변이 인위적 요인에 오염되어 있는 것을 보여주며, 할아버지와 연경산 약수터는 하절기와 강수 후 분변유래형균의 분리율이 높아졌는데 약수의 수온 상승 및 강수 유입과 관련지어 생각할 수 있다.

분원성연쇄상구균은 사람이나 온혈동물의 분변 중에 높은 농도로 존재하며 오염되지 않은 시료에서는 검출되지 않는 특징을 가지고 있다. 분원성연쇄상구균은 세균 분류상 주로 Lancefield group D에 속하는 것으로 *Streptococcus faecalis*, *S. facium*, *S. avium*, *S. bovis*, *S. equinus*, *S. gallinarum*의 종이 있으며 본 실험의 검출 결과는 Table 4에 나타내었다.⁹⁾ 분원성연쇄상구균은 2~4월까지 인학과 연경산 약수터에서 강수 후에 각 1건씩 검출되었고 50mm이상의 강수 후에는 검출률이 높아졌다. 또한 분원성연쇄상구균의 일부 그룹으로 구성된 장내연쇄상구균인 *S. faecalis* 와 *S. facium*이 강수 후 약수에서 수 일 동안 동정되었는데 이것은 지표상의 오염물이 빗물에 의해 약수로 씻겨 내려온 것으로 해석되며 약수터 주변 환경이 온혈동물의 분변에 노출되어 있음을 보여주었다.

Table 3. Classification data of coliforms isolated from the natural mineral water

Name	Coliforms		
	From natural environments	From evacuation	From natural environments and evacuation
Inhak	<i>Hafnia alvei</i> (2)* <i>Serratia ficaria</i> (4) <i>Serratia liquefaciens</i> (1) <i>Serratia marcescens</i> (2)	<i>Escherichia coli</i> (15) <i>Klebsiella oxytoca</i> (7)	<i>Citrobacter braakii</i> (1) <i>Citrobacter freundii</i> (1) <i>Enterobacter amnigenus</i> (5) <i>Enterobacter asburiae</i> (1) <i>Enterobacter cloacae</i> (13) <i>Enterobacter sakazakii</i> (2)
Halabeoji	<i>Serratia ficaria</i> (4) <i>Serratia liquefaciens</i> (1) <i>Serratia odorifera</i> (1)	<i>Escherichia coli</i> (8) <i>Klebsiella oxytoca</i> (1)	<i>Citrobacter braakii</i> (1) <i>Citrobacter freundii</i> (1) <i>Enterobacter cloacae</i> (3) <i>Enterobacter gergoviae</i> (1)
Yeonkyeong-san	<i>Hafnia alvei</i> (1) <i>Serratia ficaria</i> (2) <i>Serratia liquefaciens</i> (1) <i>Serratia marcescens</i> (1) <i>Serratia odorifera</i> (2)	<i>Escherichia coli</i> (10)	<i>Citrobacter braakii</i> (2) <i>Enterobacter amnigenus</i> (1) <i>Enterobacter cloacae</i> (14) <i>Enterobacter sakazakii</i> (3)

* () : Detected number

Table 4. The isolation of fecal streptococcus from natural mineral water and soil

Date of sampling	Fecal streptococcus	Date of sampling	Fecal streptococcus
Mar. 15	ND*	May 20	D** (Inhak)***
Rainfall 8.5mm		May 23	ND
Mar. 23	ND	Jun. 13	ND
Mar. 24	ND	Jun. 27	D (Inhak)
Mar. 25	D (Inhak)		D (Halabeoji)
Mar. 26	ND		D (Yeonkyeongsan)
Rainfall 18.5mm		Rainfall 95mm	
Apr. 21	D (Yeonkyeongsan)	Jul. 3	D (Inhak)
Apr. 22~30	ND		D (Halabeoji)
May 16	ND		D (Yeonkyeongsan)
Rainfall 53mm		Jul. 4	D (Inhak)
May 17	D (Inhak)		D (Yeonkyeongsan)
	D (Halabeoji)	Jul. 5	D (Inhak)
	D (Yeonkyeongsan)	Jul. 6	ND
May 18	D (Inhak)	Jul. 7	D (Inhak)
	D (Halabeoji)	Jul. 9	ND
	D (Yeonkyeongsan)	Jul. 31	D (Inhak)
May 19	D (Inhak)	Aug. 22	D (Inhak)
	D		D (Yeonkyeongsan)

* ND : Not detected

** D : Detected

*** () : Name of detected spring

2. 토양 조사

2.1. 토양의 물리적 특성 조사

토양무기질 입자의 입경조성에 의한 토양의 분류를 토성(土性)이라 하며 모래, 미사, 점토 등의 함유 비율에 의하여 결정된다. 토양의 입자는 자갈 2mm이상, 모래 0.02~2mm, 미사 0.002~0.02mm, 점토 0.002mm이하로 분류되고 토성은 국제토양학회분류법에 의해 기계적 분석으로 모래, 미사, 점토의 함량을 취하여 그 백분율을 산출하여 분류할 수 있다. 본 연구에서는 야외에서 손으로 토양을 만져 그 촉감으로 결정하는 간이법으로 토양을 물로 잘 축인 다음 손가락으로 비벼보고 가슬가슬한 느낌의 정도로 모래와 미사를 구별하고 젖었을 때에 가소성과 점착력의 정도로 대략적인 토성을 구별하였다.

3개소 약수터 인근 토양 입자를 보면 미사와 모래가 혼합되어 있는 형태였으며 인화>할아버지>연경산 순으로 사토형에 가까웠고, 연경산 토양은 점토형으로 유기물 함량이 높은 부식토이며 보수성(保水性)도 높아 식물의 생육에 적당한 발토양의 형태에 가까운 것으로 보여 진다. 토양의 입경에 의한 토성은 통기성 및 토양의 보수성과 연관이 있어 모래분이 많은 사토일수록 통기성은 좋지만 토양의 보수성이 적어져 토양의 가용성염류나 유기물이 약수로 유입하기에 용이할 것으로 보여 지는데 조사결과 3개 지점 중 인화 약수터 토양의 수분이 가장 적어 유기 시 총대장균군 검출율이 타 약수터에 비해 높게 나타나는 것으로 보인다.

토양의 색은 토양이 가지고 있는 여러 가지 물질의 양이나 상태를 표시하는 하나의 지표가 될 수 있으며, 유기물함량, 토양배수, 통기성 등과 깊은 관계가 있다. 토양의 색이 갈색, 적색, 황색을 나타내는 것은 광물의 성분이 화학변화를 받았음을 나타내고 유기물이 더해졌음을 의미하며 주된 원인 물질은 토양 유기물과 산화철이다. 조사대상 지점의 토양의 색을 살펴보면 문학산 하단 능선에

위치한 인화 약수터 주변 토양은 연한 갈색으로 부식정도가 적어보이며, 연경산 약수터의 토양은 검은 빛이 도는 짙은 갈색을 띠고 있고 상부층에 나뭇잎 등이 침식에 의하여 덮여있어 토양부식이 가장 큰 것으로 보인다. 할아버지 약수터의 토양은 인화 약수터보다 다소 짙은 갈색을 띠고 있으며 일반적인 산토양의 색을 나타내었다.

2.2. 이화학·미생물학적 특성

약수터별 토양의 평균 pH는 인화 5.3>연경산 4.6>할아버지 4.5순으로, 전국 토양의 자연함유량 pH 5.7보다 낮은 수치이며 연경산, 할아버지 약수터 토양은 산성화가 상당히 진행된 것으로 나타났다. 평균 유기물함량(%)은 토양 색 조사에서 부식정도가 컸던 연경산 5.03>할아버지 2.81>인화 1.37순으로 나타났으며 총질소 함량(mg/kg)은 연경산 4,220>할아버지2,436> 인화 1,090순으로 연경산 약수터 토양에서 높은 수치를 나타내었다.

약수의 이화학적 검사 중, 각종 질소화합물이 산화되어 발생하는 항목인 질산성질소(mg/l)는 월평균 수치가 연경산 4.8>할아버지 4.5>인화 3.4순으로 토양 질소 함량과 같은 순으로 나타났으며 유기 시에도 연경산 6.1>할아버지 5.5>인화 3.8순으로 질소함량이 높은 연경산 토양에서 증가되는 수치도 더 높게 나타났다. 자연계에서 유기물이 부패, 분해되는 과정의 초기단계에서 발생하는 암모니아성질소는 3개소에서 비슷한 수치로 나타나 총질소에 비해 암모니아 형태의 질소 양이 적은 것으로 보인다. 이는 약수터 주변 토양의 유기질소 화합물이 미생물에 의한 질산화작용으로 암모니아성 보다는 질산성질소 형태로 많이 존재하고, 이 영향이 토양의 산성화나 약수 수질의 질산성질소 수치에도 영향을 미치는 것으로 사료된다.

각 조사지점의 이화학 분석결과와 총대장균군수의 검사결과를 Table 5에 나타내었다.

Table 5. The variation of physicochemical items and coliform counts from soil

Name	Date of sampling	pH	Moisture (%)	Organic matter content (%)	T-N (mg/kg)	NH ₄ -N (mg/kg)	Coliform counts (/100g)
Inhak	Feb. 21	5.3	12.8	1.92	1,391	10.7	80
	Mar. 23	5.6	7.9	1.68	1,086	6.6	240
	Apr. 30	5.4	8.4	1.24	1,027	9.6	230
	May 16	5.2	10.9	1.34	1,060	4.2	1,300
	Jun. 13	5.4	7.2	1.13	1,055	3.6	1,700
	Jul. 31	5.3	7.2	1.17	989	7.3	800
	Aug 22	5.4	12.2	1.09	1,018	7.1	16,000
	Average	5.3	9.5	1.37	1,090	7.0	2,907
Halabeoji	Feb. 21	4.5	17.9	2.84	2,364	12.9	40
	Mar. 23	4.4	16.8	2.62	2,818	11.4	50
	Apr. 30	4.7	15.7	2.50	2,159	11.8	230
	May 16	4.2	24.4	3.21	2,759	3.1	500
	Jun. 13	4.3	17.2	3.16	2,541	2.5	900
	Jul. 31	4.8	15.2	2.74	2,314	9.1	500
	Aug 22	4.9	14.5	2.61	2,098	10.2	500
	Average	4.5	17.4	2.81	2,436	8.7	389
Yeonkyeong-san	Feb. 21	4.5	25.1	5.60	3,739	8.3	40
	Mar. 23	4.6	18.4	5.47	4,606	11.2	80
	Apr. 30	4.4	19.7	4.93	4,002	7.1	80
	May 16	4.8	30.3	4.16	4,759	3.3	340
	Jun. 13	5.0	21.3	5.45	4,325	3.0	800
	Jul. 31	4.3	23.8	4.89	4,125	11.4	900
	Aug 22	4.2	41.7	4.72	3,979	10.8	700
	Average	4.6	25.7	5.03	4,220	7.9	420

각각의 약수터별 총대장균군수는 기온이 상승하는 하절기로 갈수록 증식에 영향을 받았으며 인학 약수터가 평균 2,907/100g, 할아버지 약수터는 389/100g, 그리고 연경산 약수터는 420/100g으로 인학 약수터의 토양에서 총대장균군수가 가장 높게 나타나 인학 약수의 높은 부적합율과 연관 지어 볼 수 있다. 또한 토양의 pH와 총대장균군수도 $R^2=0.9892$ 로 유의한 상관성을 나타내었다. 하지만 미생물 오염도가 가장 빈번했던 인학 약수터에서 유기물 함량과 질소화합물이 적은 것으로 조사되었는데 이것은 약수의 수질이 수원의 지리적 위치에 따라 토양에 직간접적으로 영향을 받는 것으로 보여 지며 인학 약수터의 미생물 오염도를 볼 경우 지표수 유입과 함께 지하수 오염 여부도 생각해 봐야할 것으로 보여 진다. 또한, 토양미생물의 최적생육환경의 pH가 6.0~7.5인 경우를 감안하면, 유기물에 의한 부식으로 낮은 pH를 보인 연경산 토양에서 상대적으로 미생물의

서식이 적어 총대장균군수가 낮게 나타났으며, 이로 인하여 유기물 분해를 저해하여 높은 유기물 수치를 유지하는 것으로 생각된다.

3. 약수, 강수, 토양의 미생물

약수, 강수, 토양에서 동정한 총대장균군은 Table 6과 같으며 각각 다른 세 가지 종류의 시료에서 동일한 총대장균군이 동정되었는데 분변유래형, 자연환경형, 그리고 중간형균이 모두 검출되어 약수의 수질이 인위적 요인과 함께 자연적 요인도 작용하는 것으로 보인다. 분원성연쇄상구균은 약수와 토양에서 검출되었는데 약수의 경우 50mm이상의 강수 후에 검출률이 증가한 것과 달리 토양에서는 7회 채취하여 지속적으로 검출되었다. 이것은 약수터 인근 토양이 사람이나 동물의 분변에 노출되어 있다는 것을 말해주며 이렇게 토양 속에 존재하고 있던 세균이 빗물과 함께 약수로 유입되어 강수 후 약수에서 분원성연쇄상구균의 검출률이 높아지는 것으로 사료된다.

Table 6. The isolation of coliforms from natural mineral water, soil and rain

Sample	Coliforms		
	From natural environments	From evacuation	From natural environments and evacuation
Natural mineral water	<i>Hafnia alvei</i> <i>Serratia ficaria</i> <i>Serratia liquefaciens</i> <i>Serratia marcescens</i> <i>Serratia odorifera</i>	<i>Escherichia coli</i> <i>Klebsiella oxytoca</i>	<i>Citrobacter braakii</i> <i>Citrobacter freundii</i> <i>Enterobacter amnigenus</i> <i>Enterobacter asburiae</i> <i>Enterobacter cloacae</i> <i>Enterobacter gergoviae</i> <i>Enterobacter sakazakii</i>
Soil	<i>Serratia ficaria</i> <i>Serratia marcescens</i>	<i>Escherichia coli</i> <i>Klebsiella oxytoca</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Citrobacter freundii</i> <i>Enterobacter cloacae</i> <i>Enterobacter sakazakii</i>
Rain	<i>Serratia ficaria</i>	<i>Escherichia coli</i> <i>Klebsiella oxytoca</i> <i>Klebsiella pneumoniae</i>	<i>Enterobacter cloacae</i>

4. 강화지역 약수터의 특이성 조사

강화군 약수터의 지난 3년간('04년 ~ '06년) 수질 검사 결과 평균 부적합률이 27%로 인천 전 지역 평균 부적합률 41%에 비해 상당히 낮은 수치를 보여 약수터 관리상의 특이성을 찾아보고자 하였다.

강화군의 지정 약수터 4개소(오읍·남산·찬우물·하우 약수터)의 관리 실태를 조사한 결과 오읍, 하우 2개소에는 집수정이 설치되어 있고 자율관리단체인 조기회 및 관할 면사무소에서 주기적으로(2회/월, 2회/연) 청소 및 소독을 실시하고 있었다. 그리고 집수정이 없는 남산 약수터와 지하수가 수원인 찬우물 약수터의 경우 약수터 주변 지역을 청소하는 등 타 군·구에 비하여 관리 상태가 양호하였다. 약수터의 집수정이란 물을 일시적으로 모아 약수의 수량을 일정하게 유지시키는 것으로 지속적인 관리가 반드시 필요한 시설이다. 만약, 관리가 이뤄지지 않을 경우 오염된 집수정은 실제보다 수질을 더 나쁘게 만들며 유입된 세균의 서

식처로 제공될 수도 있는 것이다. 이와는 달리 타 군·구의 약수터 대부분은 집수정의 청소 및 소독 조치가 이뤄지지 않고 있으며 집수정의 위치 및 유무에 관한 자료도 갖춰져 있지 않은 상태이다. 따라서 약수의 오염 원인에 대한 가능성이 수원 그 자체인지 주변지역 오염인지 또는 집수정 소독 부재에 따른 2차오염인지 등의 여부를 판단하기 어려운 상태이다.

5. 약수터 시설간의 차이

약수터 수질에 영향을 끼치는 인자를 조사한 연구와 지난 '06년도 수질검사 결과를 바탕으로 인천시내 다른 위치에 소재한 두 개소의 약수터를 조사하였다.(Table 7) 부평구에 소재한 청천 약수터는 계곡의 간접적인 영향과 파이프식 채수 방식 그리고 인가와 인접하여 이용객이 많은 약수터이며 지난 '06년도 결과에서 계속적으로 적합 판정을 받았다.

Table 7. Comparison of physical and microbiological characteristics in other springs

Sample Date	Hobulsa				Cheongcheon				
	W.T (°C)	Cond. (µs/cm)	T. Bacteria (CFU/ml)	Coliform counts (MPN/100ml)	W.T (°C)	Flow (ml/sec)	Cond. (µs/cm)	T. Bacteria (CFU/ml)	Coliform counts (MPN/100ml)
Feb. 7	-	-	-	-	8.0	8.8	106	2	ND*
Feb. 21	8.0	87	59	8+ **	7.3	8.9	109	0	ND
Mar. 15	8.0	91	2	2	9.0	17.2	115	9	4+
Apr. 30	9.5	99	20	23	9.5	32.3	122	0	ND
Jun. 13	13.5	93	0	ND	13.0	29.4	118	0	ND
Jul. 31	14.0	99	35	8	13.5	38.2	137	5	7
Aug. 22	14.5	97	14	2	14.0	35.3	152	3	4

* ND : Not detected

** + : Detection of Enterococcus

연수구의 호불사 약수터는 계곡에 위치하여 직접적인 영향을 받으며 통행량이 많고 우물 방식으로 바가지를 사용하여 채수하고 있다. 그리고 사찰 내에 위치하여 주기적인 관리가 이뤄지고 있음에도 미생물 항목에서 42%의 부적합률을 보였다. 조사기간 동안 두 약수터의 미생물 항목을 분석한 결과 청천 약수터는 총 7회 채수하여 43%의 부적합률(총대장균군 3회, 분원성연쇄상구균 1회)이 관찰되었고 호불사 약수터는 총 6회를 채수하여 83%의 부적합률(총대장균군 5회, 분원성연쇄상구균 1회)을 나타내었다. 호불사 약수터의 우물식 채수 방식은 파이프에 비해 일반세균수와 총대장균군 검출률이 높게 되는데¹²⁾ 채수자로부터의 2차적인 오염이 이뤄지기 때문이다. 특히, 일정한 공간에 오염물이 유입될 경우 회복되기 어려운 단점을 가지고 있고 따라서 채수 시 혼입될 2차적 오염을 최소화할 수 있게 약수터 시설이 마련되어야 하는데 사람 및 동물에 의한 인위적인 오염물이 유입되지 않도록 입구는 덮개를 설치하여 관리하며 채수 시 흘러내린 물이 재유입되지 않도록 지정된 장소에서만 채수하고 점차적으로는 2차적 오염이 적은 파이프 형태로 바꾸어 나가야할 것이다. 채수구는 고정된 파이프로 설치하여 사람의 접촉을 막고 채수병과 채수구의 접촉에 의한 오염을 피하기 위해 적절한 채수구의 높이를 마련하는 것이 필요하다.

6. 집수정 소독을 통한 약수 수질 상태

여러 지역 약수터의 집수정을 찾아보고 관리 상태를 살펴본바 외부 오염으로부터 무방비한 상태로 오염의 소지를 내포하고 있었다. 따라서 집수정 오염으로 인한 부적합률 증가 가능성이 제기되어 소독 전과 후 약수를 채수하여 미생물을 검사함으로써 집수정 오염 여부, 약수 원수의 오염, 그리고 소독 지속 효과를 알아볼 수 있었다.

'07년 6월 7일 ~ 22일(1차)과 8월 3일 ~ 8일(2차) 동안 소독제(차아염소산칼슘)를 집수정에 직접 투입한 후 잔류염소 농도에 따른 미생물 검출 여부를 알아보았다. 1차 조사 기간은 우기 전으로 강수에 의한 영향이 적은 조건에서 실시되었고 2차 조사는 강수에 의한 영향을 보았다. 실험 방법은 소독 전 채수 및 소독 1시간 경과부터 매 시간 간격으로 총 8회 채수하였고 실험 시작 5~9일차(6.11~15) 동안은 오전과 오후 각 1회씩 채수, 13~16일차(6.19~22)는 1일 1회 채수하였다. 그 결과 소독 전 시료에서 총대장균군과 분원성대장균군이 같이 검출되었다가 소독 후 실험 15일차까지 적합한 수질 상태를 유지하였다. 따라서 강수에 의한 영향이 없는 호조건인 1일 강수량 0.0~1.0mm에서 2주간의 소독 지속효과를 확인하였고 실험 15일차(6.21)에 16.5mm의 강수가 내리면서 미생물이 검출되었다.(Table 8) 2차 조사는 실험 2일차에 50.5mm의 강수가 내리면서 총대장균군이 검출됨으로써 1일 강수 약 15mm이상에서는 집수정 소독 효과를 확인할 수 없었다.

Table 8. Effect of disinfection maintenance on the catchment well

Sampling date		Residual Chlorine(mg/l)	Total Bacteria (CFU/ml)	Coliforms (/100ml)	Fecal coliforms (/100ml)
Jun. 7	09:00*	-	8	D***	D
	10:00**	-	-	-	-
	11:00~17:00 (1time/hour)	0.11 ~ 0.45	0	ND****	ND
Jun. 8	09:00~17:00 (1time/hour)	0.10~0.09	0	ND	ND
Jun. 11~15	2time/day	-	0 ~ 16	ND	ND
Jun. 19~20	1time/day	-	0 ~ 3	ND	ND
Rainfall 16.5mm					
Jun. 21	1time/day	-	60	D	ND

* Before disinfection, ** Immediately after disinfection

*** D : Detected, **** ND : Not detected

소독 후 잔류염소 농도가 낮은 상태에서 도 지속적으로 미생물이 검출되지 않은 것은 소독을 통해 집수정의 오염이 제거되어 미생물로부터 안전한 수질이 확보된 것으로 보여 지며 또한 강수 후 미생물이 검출된 결과는 강수 전의 약수가 깨끗한 상태로 존재하다가 강수로 인해 오염물이 유입되어 집수정에 존재하면서 수질에 영향을 미치고 있는 것으로 해석되어 진다.

IV. 결 론

인천지역 약수에서 높은 부적합률을 차지하고 있는 미생물학적 오염도를 조사하기 위해 '07년 2월부터 8월까지 강수, 약수, 그리고 약수터 인근 토양을 채취하여 이화학적 및 미생물학적 항목을 분석하여 수질에 영향을 미치는 여러 가지 요인을 조사하였다.

먼저, 약수의 강수 전·후 수량을 측정하여 강수 유입 여부를 확인한 결과 50mm 이상의 집중 강수 후 수량 변동이 커졌으며 인화 약수터는 최저 58ml/sec에서 최고

158ml/sec, 할아버지 약수터는 0.7~27.8ml/sec, 연경산 약수터는 16~400ml/sec로 증가하였다. 수온은 최저 8.8℃에서 최고 16.5℃로 하절기의 기온 상승과 함께 높아졌으며 상승한 수온이 미생물 증식에 영향을 미쳐 동절기에 비해 부적합률이 상승하였다. 이화학적 항목은 질산성질소와 과망간산칼륨소비량이 우기 시 다소 증가하였고 그 외의 항목은 수질 기준에 적합한 범위 내에서 변화하여 약수에 미치는 영향이 적었다.

약수의 일반세균수와 총대장균군수는 약 50mm와 100mm이상의 강수 후 증가하였는데 일반세균의 경우 조사 기간 동안 먹는물 기준에 적합한 범위 내에서 증감한 반면 총대장균군수는 강수량에 따라 증감하였고 검출률은 각각 50%, 100%를 보였다. 또한 분변 및 자연환경 유래형의 총대장균군이 모두 검출되어 약수의 수질이 인위적 요인과 함께 자연적 요인도 작용하는 것으로 판단되었다. 분원성연쇄상구균인 *S. faecalis* 와 *S. facium* 등은 강수 전에 검출률이 낮다가 50mm이상의 강수 후 수 일 동안 검출되었는데 이에 비해 토양에서는 지속적으로 확

인되어 약수터 주변 환경이 온혈동물의 분변 등에 오염되어 있다가 빗물과 함께 약수로 유입되어 강수 후 검출률이 높아진 것으로 사료된다.

토양의 pH에 따른 미생물 증식을 알아보기 위해 약수터별 인근 토양의 pH를 측정 한 결과 인화 5.3>연경산 4.6>할아버지 4.5순으로, 전국 토양의 자연함유량 pH 5.7 보다 낮은 수치를 보였고 연경산과 할아버지 약수터의 토양은 산성화가 상당히 진행된 것으로 나타났다. 이러한 토양의 산성화는 약수터 주변 토양의 유기질소 화합물이 미생물에 의한 질산화작용으로 암모니아성 보다는 질산성질소 형태로 많이 존재하면서 토양의 산성화와 약수의 질산성질소 수치에 영향을 미치는 것으로 생각된다. 토성은 통기성 및 토양의 보수성과 연관되는데 인화 약수터의 경우 모래분이 많은 사토로 통기성은 좋지만 보수성이 적어 가용성 염류나 유기물 유입이 용이하여 우기 시 총대장균 군수가 타 약수터에 비해 높게 나타났다. 그리고 강수와 토양에서 검출된 총대장균군이 약수와 동일한 것으로 확인되어 약수가 강수와 토양에 직접적인 영향을 받고 있는 것을 알 수 있었다.

약수 자체의 오염 유무 및 소독 지속 효과를 알아보기 위해 집수정을 소독한 후 일 반세균과 총대장균군을 측정하였다. 조사 결과 소독 후 잔류염소 농도가 거의 없는 상태에서도 미생물이 검출되지 않아 음용하기에 적합한 상태를 나타내었다. 하지만 1 일 강수 약 15mm이상에서 총대장균군이 즉시 검출되어 약수가 강수에 직접적인 영향을 받으며 지질 내의 순환 주기가 짧아 강수 유입이 매우 단시간 안에 이뤄지고 있음을 확인할 수 있었다. 또한 약수가 강수 전 깨끗한 상태로 존재하다가 오염물이 강수 후 유입되고 한번 유입된 오염물은 집수정에 존재하면서 세균의 서식처로 제공되는 등 수질에 악영향을 미치는 것으로 나타났다. 이처럼 강수에 직·간접적으로 영향을

받는 약수터의 경우 시설 측면에서 최적의 조건을 갖추고 주변 지역이 인위적 오염으로부터 깨끗하게 유지될 지라도 강수에 존재하는 세균과 토양에 존재하는 상재균 등으로 강수 후 오염될 확률이 높아져 사실상 안전한 수질을 유지하는 것이 어려운 실정이다. 그러므로 약수의 수질을 보호하기 위해서는 시설 정비 및 관리와 함께 주변 환경을 청결하게 유지하여 강수 후 분변유래형균의 유입을 막고 집수정을 소독하거나 자외선 등을 설치하는 등 직접적인 조치 행위가 필요하리라 생각된다.

인천지역에 소재한 여러 약수터의 특이성을 조사한 결과 약수터의 수원(지하수, 지표수), 수량, 집수정의 위치와 유무 등에 대한 자료가 전무한 실정으로 약수터의 기본적인 자료 또한 체계적으로 정비함으로써 점차적으로 수질을 개선해 나가야 할 것이다.

참고문헌

1. 김종배, 장우석, 전태환 : 大邱地域 약수터의 效率的인 管理方案, 市政研鑽 제14호, 305-342, 2002.
2. 허홍덕 : 약수터 주변환경 및 수질조사 보고서, 인천광역시보건환경연구원, 2001.
3. 환경부 : 먹는물 공동시설 관리요령, 환경부훈령 제695호, 2006.
4. 환경부 : 먹는물수질공정시험방법, 환경부 고시 제2002-91호, 2002.
5. 동화기술편집위원회 : 수질오염·폐기물·토양오염공정시험방법, 동화기술, 2003.
6. 정찬호, 김은지, 문병진 : 대전지역 약수의 수질특성과 관리방안, 한국지하수토양환경학회, 15-18. 2001.
7. 이성호, 송희봉, 정동숙 : The Chemical and Microbiological characteristics of rainfall in Daegu Area, 대한환경공학회지, 853-860, 2004.

8. 이지영, 이상수, 김익수 외 : A Study on The Present State of Pollution at Ondalsaems in Seoul, Report of S.I.H.E, 36:326-332, 2000.
9. 정현미 : Analysis of microbiological parameters in drinking water-the current status and future progress, Institute of Global Environment, Vol. 9, pp71-88, 1998.
10. 박지은, 이영옥 : 총대장균군 측정시 나타나는 위양성 및 위음성의 문제점과 해결방안, 제13회 세계 물의 날 기념 심포지엄 『대장균 측정방법의 현황과 개선방안』, pp25-37, 2005.
11. 이성호, 송희봉, 조찬래 외 : 화학적-미생물학적 수질에 대한 강우영향의 특성 (대구지역 약수), 대한환경공학회지, 제 24권, 제12호, pp2213-2225, 2002.
12. 이기찬, 정성균, 홍종완, 박타미, 송영진 : 도시주변에 산재한 약수의 세균학적 조사, 전국대학생학술연구발표논문집, 제6편, 27-40, 1981.