

보고문

군용 지하수의 수질 특성에 관한 조사 연구

박종고[†] · 나익주 · 박형진 · 권용학

제3식품검사대

A Study on Analysis of Groundwater Quality in Army Base Area

Jong-Ko Park[†] · Ik-Ju Na · Hyoung-Jin Park · Yong-Hak Kwon

The 3rd Food Inspection Battalion

(Received 20 November 2006, Accepted 9 February 2007)

Abstract

This study was carried out to evaluate water quality based on physicochemical properties, including ammonium nitrogen (NH₃-N⁻), nitrate nitrogen (NO₃-N⁻), consumption of KMnO₄ and microbial indicators, such as total colony counts and total coliforms for the ground water in purpose to use and supply for military facilities in Seoul, Kyunggi-do and Incheon-city. We surveyed a group of 30 samples three times in 2005 (January to March, July to September, October to December). The mean concentration values of ammonium nitrogen (NH₃-N⁻), nitrate nitrogen (NO₃-N⁻) and the consumption of KMnO₄, were 0.01 mg/L (range 0.00~0.09 mg/L), 0.48 mg/L (range 0.00~3.31 mg/L) and 0.61 mg/L (0.00~3.42 mg/L), respectively. Based on the results, total colony count was detected in the ranges of 0~412 CFU/mL. In details, 84.4% of test samples was ≤ 30 CFU/mL, 10.0% was 30~100 CFU/mL and 5.6% was ≥ 100 CFU/mL. The detected rate of total coliforms was 6.6%. In conclusion, the ground water quality of 30 military facilities in Seoul, Kyunggi-do, and Incheon-city was acceptable for drinking except for a few detection of total colony count and total coliforms over standard.

keywords : Ground water, Physicochemistry, Total coliform, Total colony count

1. 서론

생명체의 근본이 되는 물은 성인의 경우 매일 2~3 L를 섭취하여야 하며, 만약 오염된 물을 마실 경우 정상적인 생리작용을 저해할 뿐아니라, 장기 복용할 경우 인체에 유해한 영향을 미치게 되므로 물의 안정성에 관한 문제는 살아가는 사람들의 중대한 사안으로 대두되고 있다(국립환경연구원, 2000). 최근 음용수의 각종 수인성 전염병 발생 우려 및 환경오염에 의한 중금속 등으로 인해 국민들의 수질 보전에 대한 관심이 커지고 있으며 심각한 환경오염을 체험하고 있는 현대인들의 수돗물에 대한 불신이 점차 심화되어지는 등 마시는 물에 대한 인식이 변하여, 좋고 깨끗하고 살아있는 물, 즉 생수를 마시고 싶은 욕구가 증가되고 있어 양질의 지하수 및 먹는 샘물 또는 도시 근교의 약수터를 찾는 사람들의 발길은 계속 늘고 있는 추세이다. 그러나 약수터도 이용자 수의 증가에 따라 집단 수인성 전염병 등의 유발 가능성도 높아지고 있다(미생물과, 2000). 이러한 추세에 맞춰 우리나라 각 지역의 지하수 수질특성에 대한 조사는 양(1996)을 비롯한 많은 연구가 이루어지고 있다(유 등, 2003; 정 등, 2004).

본 조사에서는 현재 군 장병들이 음용하는 군용지하수로

사용되는 것 중 비교적 부적합 빈도가 높은 3개 도시의 급수 시설에서 시료를 채취하여 이화학적성분 및 미생물검사를 실시하여 안정성여부를 파악하고 군 장병들의 보건위생상의 위해 및 수인성 전염병을 예방하기 위한 기초자료로 제공하고자 수행되었으며 2005년 1~12월까지 서울, 경기, 인천지역의 군용지하수에 대한 수질검사 결과를 분석하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사대상

서울, 경기, 인천지역 소재한 군용지하수 중 부적합빈도가 상대적으로 높은 시설을 각 도시별 10개소씩 총 30개소로 선정하였다.

2.2. 시료 채수

2005년 1~3월, 7~9월, 10~12월 3번에 걸쳐 시료를 채수하였다.

미생물시료 채수시 화염으로 수도꼭지 소독 후 시료를 채수하여 실험하였다.

2.3. 실험 항목 및 실험 방법

2.3.1. 이화학적 항목

먹는물 수질기준 항목 중 수질오염에 민감한 3개항목, 즉 암모니아성질소, 질산성질소, 과망간산칼륨소비량을 선정하

[†] To whom correspondence should be addressed. sjongko@nate.com

여 먹는물 수질공정 시험방법에 준하여 실험하였으며 각 항목별 분석방법(환경부, 2002; APHA, 1989) 및 사용한 실험기기는 Table 1과 같다.

Table 1. Analytical methods and instruments

Item	Unit	Method and Instruments
NH ₃ -N ⁺	mg/L	Phenate method
NO ₃ -N ⁻	mg/L	Spectrophotometer method : Mecasis 3220
KMnO ₄	mg/L	Titration method

2.3.2. 미생물 항목

먹는물 수질기준 항목인 일반세균과 대장균을 먹는물 수질공정시험방법에 준하여 2005년 1~12월 사이 시료 채취하여 실험하였고 세부적인 실험방법은 Table 2와 같다.

1) 일반세균 분리

시험검체 1 mL를 채취하여 멸균 배양접시 2매에 plate count agar(difco)를 분주하여 incubator에서 35±0.5°C, 48시간 배양하여 counting하였다(경기도보건환경연구원, 2004).

2) 대장균군 분리

대장균군도 2배 농축 lactose broth(difco) 10 mL가 분주되어 있는 시험관 5개에 약수 10 mL를 각각 접종한 후 35±0.45°C, 24~48시간 배양하여 가스 발생 여부를 확인한 후 가스가 발생된 검체는 brilliant green lactose broth(difco)에서 48시간 재 배양하여 확인 후 동일 결과가 나타난 검체에 대하여 emb agar(difco) streaking하여 순수 분리 후 (methal-sheen)광택이나 자주빛이 형성된 집락을 선택하여 그림염색하고 단간 균임을 확인 동정하였다(경기도보건환경연구원, 2004).

3. 결과 및 고찰

3.1. 이화학적 검사 결과

조사대상 균용지하수의 이화학적 항목을 검사한 결과 Table 3, 4와 같으며 전체 검사시료는 검사한 항목내에서 모두 먹는물 수질기준에 적합하였다.

암모니아성질소는 오수의 유입을 알 수 있는 항목으로 이번 조사에서는 전 대상에서 거의 검출되지 않은 것으로 보아 특별한 오수 유입 등은 없었던 것을 알 수 있다. 인천지역에서 제일 높은 0.09 mg/L로 검출되었고 먹는물 기준치인 0.5 mg/L보다 아주 작은 수치이다.

강(2002)은 부산지역의 암모니아성 질소의 평균 0.035 mg/L로 나타나 균용지하수 0.01 mg/L보다 조금은 높은 수치를 보였다. 질산성질소는 전 조사범위가 Table 3에서 보듯이 0.00~3.31 mg/L범위로 전체 평균치 0.48 mg/L로 낮은 수치를 보였다. Table 4에서 보듯 7~9월 사이 조사한 평균치가 0.56 mg/L로 가장 높게 나타났지만 1~3월, 10~12월의 평균치인 0.12 mg/L, 0.43 mg/L과 비슷한 수치를 보였다. 정 등(2004)은 강원도 지역내의 지하수의 질산성질소의 평균치 2.69 mg/L보다 낮은 수치이며 질산성질소가 2 mg/L이하이면 매우 깨끗한 지하수로, 2~5 mg/L이면 깨끗한 지하수로 판단할 수 있으며 균용지하수의 질산성질소 분포도는 2.0 mg/L이하가 86%, 2.1~5.0 mg/L 14%, 5.0 mg/L 이상의 수치를 보이는 지하수는 조사되지 않았다. 과망간산칼륨소비량은 수중의 유기물량을 간접적으로 말해주는 항목으로 조사대상 30 급수원의 전체범위가 0.00~3.42 mg/L로 서울, 경기, 인천의 평균치 0.42 mg/L, 0.64 mg/L, 0.78 mg/L로 전체평균치 0.61 mg/L와 비슷한 수치를 보였고, 7~9월에 조사한 과망간산칼륨소비량의 평균치인 0.65 mg/L와 비슷한 수치를 보였다. 허(1996)가 조사한 경상남도 평

Table 2. Media and condition of indication bacteria (환경부, 2002; 경기도보건환경연구원, 2004)

Item	Presumptive test	Confirmed test	Complete test	Temp (°C)	Incubation time (hr)
Total colony counts	Plate count agar			35±0.5	48
Total coliforms	Lactose broth	BGLB	EMB agar	35±0.5	48

Table 3. Overall results about physicochemical analysis of samples

Area		Physicochemical properties		
		NH ₃ -N ⁺	NO ₃ -N ⁻	KMnO ₄
Total	Max. conc. ^{a)}	0.09	3.31	3.42
	Min. conc. ^{b)}	0.00	0.00	0.00
	Avg. conc. ^{c)}	0.01	0.48	0.61
Seoul	Max. conc.	0.07	1.81	3.24
	Min. conc.	0.00	0.00	0.00
	Avg. conc.	0.01	0.46	0.42
Kyunggi-do	Max. conc.	0.08	2.11	3.42
	Min. conc.	0.00	0.00	0.00
	Avg. conc.	0.01	0.41	0.64
In-chon	Max. conc.	0.09	3.31	3.10
	Min. conc.	0.00	0.00	0.00
	Avg. conc.	0.01	0.47	0.78

^{a)}Max. conc. = Maximum Concentration; ^{b)}Min. conc. = Minimum Concentration; ^{c)}Avg. conc. = Average Concentration

Table 4. Detailed data about physicochemical analysis of each sample

Area	No	Measured values of samples for each period of test								
		Jan. - March			July - Sept.			Oct. - Dec.		
		NH ₃ -N ⁻	NO ₃ -N ⁻	KMnO ₄	NH ₃ -N ⁻	NO ₃ -N ⁻	KMnO ₄	NH ₃ -N ⁻	NO ₃ -N ⁻	KMnO ₄
	Max. conc.	0.09	3.31	3.42	0.09	3.22	3.24	0.07	2.51	3.10
	Min. conc.	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	Avg. conc.	0.01	0.12	0.59	0.01	0.56	0.65	0.01	0.43	0.59
Seoul	1	0.00	0.00	0.00	0.00	1.80	0.00	0.00	1.81	0.00
	2	0.00	0.00	0.73	0.00	0.61	0.75	0.00	1.70	0.62
	3	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.90	0.00
	4	0.00	0.00	0.00	0.03	0.42	0.00	0.01	0.41	0.00
	5	0.00	0.00	0.00	0.03	0.51	0.00	0.02	0.50	0.00
	6	0.00	1.72	0.21	0.00	1.51	0.19	0.00	0.61	0.21
	7	0.00	0.00	3.20	0.00	0.00	3.24	0.00	0.11	2.93
	8	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	9	0.07	0.00	0.00	0.03	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00
	10	0.00	0.80	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.50	0.00
Kyunggi -do	11	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	12	0.00	2.11	0.00	0.01	1.52	0.00	0.06	0.70	0.00
	13	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	14	0.04	0.00	2.56	0.06	0.00	2.56	0.02	0.00	2.12
	15	0.08	0.00	0.89	0.08	1.63	0.79	0.01	0.60	0.53
	16	0.00	0.00	0.00	0.00	1.13	0.00	0.00	0.21	0.00
	17	0.04	0.60	0.00	0.00	1.36	0.00	0.00	0.82	0.00
	18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	0.00
	19	0.00	0.42	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00	0.33	0.00
	20	0.00	0.00	3.42	0.00	0.00	3.23	0.00	0.00	2.96
In-chon	21	0.00	0.00	0.00	0.09	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00
	22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	24	0.00	3.31	2.12	0.00	3.22	2.25	0.00	2.51	3.10
	25	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	26	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00
	27	0.00	0.91	0.00	0.00	0.61	0.00	0.06	0.00	0.00
	28	0.03	0.00	1.53	0.00	0.11	1.73	0.00	0.00	1.23
	29	0.00	0.00	1.11	0.02	0.12	2.13	0.00	0.00	1.99
	30	0.00	0.72	1.89	0.00	1.23	2.14	0.00	1.15	2.15

균 1.73 mg/L보다 약간 낮은 수치를 보였으며, 과망간산카
 률소비량은 1 mg/L이하이면 매우 깨끗한 지하수로, 1~2
 mg/L이면 깨끗한 지하수로 판단할 수 있으며 본 조사대상
 의 급수원 60% 이상이 2 mg/L이하로 수치가 나와 깨끗한
 지하수로 판단된다. 일반세균이란 보통 한천배지에서 집락
 을 형성하는 호기성 또는 혐기성 종속 영양세균의 수를 말
 한다. 분뇨, 오수외에 한천, 토양, 식품, 공기중에 널리 분포
 되어 있으며 일반세균 자체로 인체에 유해성이 있기 보다
 는 소독효과나, 위생적인 처리 및 관리를 위해 필요한 항목
 이다. 지표수나 얕은 지하수에서는 빗물의 영향을 많이 받
 지만, 깊은 지하수에서는 변동이 없는 것으로 알려져 있다.
 우리나라와 일본의 경우 먹는물 기준은 1 mL당 100
 CFU(only forming unit)이하로 규정하고 있으며 WHO(환
 경부, 1998)는 기준에는 없으나 500 CFU/mL 이하로 할 것
 을 권장하고 있다. 일반세균 검사결과 Table 5에서 살펴보

면 0~412 CFU/mL의 범위로 검출되었고, 1~3월, 7~9월,
 10~12월의 평균치는 10.07 CFU/mL, 36.63 CFU/mL,
 28.63 CFU/mL의 수치를 보였으며 7월이 평균치가 36.63
 CFU/mL로 가장 높은 수치를 보였다. Table 6의 검출결과
 수치를 보면 전체적으로 30 CFU/mL이하가 84.4%로 대부
 분을 차지하였고, 30~100 CFU/mL 사이가 10.0%, 먹는물
 기준치인 100 CFU/mL 이상은 5.6%이었다. 앞서 기술한
 7~9월 사이의 일반세균 평균치가 높게 나온 것과 마찬가지로
 100 CFU/mL 이상 검출된 건수 중 7~9월이 4건으로
 높게 나왔는데 이는 하절기 온도상승과 강우로 인한 오염
 물 유입 등에 의한 것으로 추정된다. 지하수는 토양지표면을
 흐르는 지표수와 마찬가지로 공기, 토양 등에 항상 접촉되
 는 기회가 상존하므로 일반세균 등의 수치가 전체적으로 높
 다고 알려져 있다. 그러나 실제 실험결과 일반세균 부적합을
 5.6%로 1994년 경기도 보건환경연구원보에 발표된 경기도

Table 5. Detailed data about total colony counts of each sample in ground water

Area	No	Total colont counts for each period of test		
		Jan. - March	July - Sept.	Oct. - Dec.
	Max. conc.	50	271	412
	Min. conc.	0	0	0
	Avg. conc.	10.07	36.63	28.63
Seoul	1	40	271	0
	2	2	213	3
	3	20	110	12
	4	0	3	11
	5	0	0	0
	6	0	10	0
	7	20	20	10
	8	10	30	50
	9	15	10	20
	10	0	0	0
Kyunggi-do	11	0	0	5
	12	0	0	20
	13	0	20	20
	14	40	50	30
	15	30	112	412
	16	0	0	25
	17	0	30	70
	18	0	10	20
	19	5	20	20
	20	10	30	0
In-chon	21	0	0	0
	22	50	60	40
	23	20	40	30
	24	0	0	0
	25	0	10	1
	26	10	20	5
	27	30	30	20
	28	0	0	0
	29	0	0	10
	30	0	0	0

지하수의 일반세균 32.5%와 미생물과(2000)에서 전북 보건환경연구원보에 발표된 전북도내 약수의 일반세균 부적합을 31.1%에 비교하면 아주 낮은 수치였으며 이 수치는 아주 양호한 상태를 알 수 있다. 대장균이란 호기성 또는 통성혐기성, gram음성, 비포아성간균으로서 유당을 분해하여 산과 가스를 형성하는 균을 총칭하며, 분뇨, 하수, 식품폐수외에 토양, 하천, 지하수 등에 광범위하게 존재한다. 이번 조사결과 Table 7, 8에서 보듯이 전체 90개 검체 중 6개의 검체에서 대장균이 검출되어 총 6.6%의 검출율을 보였다. 7~12월까지 검출을 보였으며, 동절기에 가장 높은 13.3%의 검출율을 보이는 것에 대한 원인 분석은 좀더 연구할 과제로 보이나, 수질보전과(1998)에서 부산광역시 보건환경연구원보에 발표된 부산 일원 약수터도 동절기 10~12월에 28.8%로 아주 높은 수치를 보였다. 지하수는 토양 등과 접촉되는 기회가 빈번하므로 이로 인해 대장균이 검

Table 6. Overall results about total colony counts of samples in the ground water

Total colony count (CFU/mL)	No. of samples for each period of test			Total	Proportion (%)
	Jan. - March	July - Sept.	Oct. - Dec.		
Total	30	30	30	90	100
Below 30	27	23	26	76	84.4
30 ~ 100	3	3	3	9	10.0
Over 100	0	4	1	5	5.6

Table 7. Detailed data about total coliforms of each sample in ground water

Area	No	The result of test for each period		
		Jan. - March	July - Sept.	Oct. - Dec.
Seoul	1	negative	positive	negative
	2	negative	negative	positive
	3	negative	positive	positive
	4	negative	negative	negative
	5	negative	negative	negative
	6	negative	negative	negative
	7	negative	negative	negative
	8	negative	negative	negative
	9	negative	negative	negative
	10	negative	negative	negative
Kyunggi-do	11	negative	negative	positive
	12	negative	negative	positive
	13	negative	negative	negative
	14	negative	negative	negative
	15	negative	negative	negative
	16	negative	negative	negative
	17	negative	negative	negative
	18	negative	negative	negative
	19	negative	negative	negative
	20	negative	negative	negative
In-chon	21	negative	negative	negative
	22	negative	negative	negative
	23	negative	negative	negative
	24	negative	negative	negative
	25	negative	negative	negative
	26	negative	negative	negative
	27	negative	negative	negative
	28	negative	negative	negative
	29	negative	negative	negative
	30	negative	negative	negative

출될 가능성이 다분하므로 분변 등에 의한 오염이나 병원균의 혼입이 되었다고 주장하기보다는 간접적으로 오염 가능성을 짐작할 수 있을 뿐이다.

본 조사 결과에서는 균용지하수 중 이화학적검사는 허용

Table 8. Detection frequency of positive samples by total coliforms test

Detection frequency(%) of positive samples for each period of test			
Jan. - March	July - Sept.	Oct. - Dec.	Total
0 (0/30) ^{a)}	6.6 (2/30)	13.3 (4/30)	6.6 (6/90)

^{a)} () : No. of positive sample / No. of total test samples

기준치 이하로 모두 검출되었고, 일반세균 및 대장균군에서 허용기준치 이상으로 약간 검출되었으나, 아주 양호한 수준이다. 그러나 앞으로 지속적인 monitoring을 통한 지속적인 검사활동이 요구된다.

4. 결론

본 조사는 2005년 1~3월, 7~9월, 10~12월 3번에 걸쳐 서울, 경기, 인천지역 군용지하수를 암모니아성질소, 질산성질소, 과망간산칼륨소비량, 일반세균, 대장균군을 검사하여 군 장병들의 안전성 및 수인성전염병의 위해를 예방하기 위한 기초자료로 활용하기 위하여 수행하였다.

군용 지하수 수질성분 조사결과 이화학적성분 항목인 암모니아성질소의 평균 0.01 mg/L(범위: 불검출~0.09 mg/L), 질산성질소의 평균 0.48 mg/L(범위: 불검출~3.31 mg/L) 그리고 과망간산칼륨소비량은 평균 0.61 mg/L(범위: 불검출~3.42 mg/L)로 조사되었으며 기준치를 초과가 없어 깨끗한 것으로 나타났다.

일반세균은 경우 전 시료중 최소 0 CFU/mL에서 최대 412 CFU/mL의 범위로 검출되었으며 30 CFU/mL 이하는 84.4%, 30~100 CFU/mL는 10% 그리고 100 CFU/mL 이상은 5.6%였다. 지표미생물인 대장균군의 검출율은 전 시료 중 6.6%로 조사되었다.

군용지하수에서 이화학적검사는 우리나라 허용기준치를 초과한 시료가 없지만 일반세균과 대장균군은 허용기준치를 약간 초과하였다.

참고문헌

강성원, 질산성질소(NO₃-N-)에 의한 지하수 오염에 관한 연구, 부산광역시 보건환경연구원보, **12**, pp. 205-229 (2002).

경기도보건환경연구원, 음용수 지표균에 관한 조사, pp. 182-201 (1994).

경기도보건환경연구원, 병원성미생물검사, pp. 9-56 (2004).

국립환경연구원, 각 국의 수질관련 기준 비교분석, pp. 1-10 (2000).

미생물과, 전라북도내 약수의 수질미생물에 관한 조사연구, 전라북도 보건환경연구원보, **12**, pp. 137-163 (2000).

수질보전과, 미생물에 의한 약수터 오염원 조사연구, 부산광역시 보건환경연구원보, **8**, pp. 190-204 (1998).

양운진, 마산·창원지역의 지하수 수질에 관한 연구, 한국수질보전학회지, **12**(2), pp. 215-223 (1996).

유숙진, 김광수, 부산시 지하수의 수질 특성에 관한 연구, 부산광역시 보건환경연구원보, **13**(2), pp. 90-136 (2003).

정원구, 방명렬, 김종철, 이태준, 현근우, 우주영, 강원도 지하수의 수질특성에 관한 조사연구, 강원도 보건환경연구원보, **15**, pp. 77-89 (2004).

허종수, 도내 지하수의 지역별 특성 조사 연구, 경상남도 보건환경연구원보, **4**, pp. 162-188 (1996).

환경부, 세계보건기구(WHO) 먹는물 수질관리 지침서, pp. 16-34 (1998).

환경부, 환경부고시 2002-91 먹는물 수질공정 시험 방법, pp. 1-94 (2002).

APHA, AWWA, WPCF, Nitrogen, in standard methods for the examination of water and wastewater(17th), American Public Health Association, pp. 4-143 (1989).