

무등산 약수터의 강우 전후 수질특성

이윤국[†] · 박옥현 · 안상수 · 김연희 · 김종민 · 배석진 · 백계진 · 문용운

광주광역시보건환경연구원 환경연구부 수질과

Quality of Spring Water Influenced by Rainfall in Mudeung Mountain

Youn-goog Lee[†], Ok-hyun Park, Sang-su An, Yun-hee Kim, Jong-min Kim,
Seak-jin Bae, Kye-jin Paik, and Young-woon Moon

Department of Environmental Research, Public Health & Environment Institute of Gwangju, Gwangju 502-243, Korea

Received July 28, 2011/Accepted September 30, 2011

This study was performed to investigate the quality of spring water during the rainy periods in Mudeung mountain, in April, May, July and August 2010. The variation of physicochemical items such as pH, TDS, NO₃-N, Cl⁻, SO₄²⁻ was not significant and the concentration at each sites satisfied with drinking water guideline except that of turbidity. The content variation of minerals like Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, Na⁺ showed generally stable during the rainy periods. Even though a photo catalyze sterilizer was used, total coliforms and fecal coliforms were detected in every sample collected, except for the one from Neutjæ. That is why the sterilizing facility is exposed to many environmental variables such as insolation and rainfall. According to the distribution of species, at Jungmeorijæ, total coliforms proliferate because of fecal contamination. However, at Neutjæ, total coliforms were caused by plant, soil and water, rather than fecal.

Key words: spring water, disinfection, photo catalyze sterilizer

1. 서 론

건강에 유익하고 좋은 물을 찾아 사찰, 도심 근교 등에 위치한 약수터를 이용하는 시민들이 증가하고 있다. 약수란 바위틈이나 땅속으로 스며든 빗물에 각종 광물질이 용해되어 있는 암반대수층의 지하수 또는 모세관 작용으로 지표로 다시 솟아나는 물을 말한다¹⁾.

약수와 관련된 국내 연구를 보면 약수의 수질특성 및 영향인자, 미생물학적 안정성 평가, 약수터의 물 맛 평가, 균종별 분포 및 생화학적 성장 조사 등 다양한 연구가 진행되었다¹⁻⁵⁾.

하지만 엄격히 관리되는 상수도와는 달리 약수는 빗물 등 지표수에 의존하며 약수터의 입지조건, 야생동물의 배설물 유입, 이용객의 비위생적인 이용 등 외적 원인으로 인한 미생물 오염가능성이 높다. 2009년도 환경

부 조사결과에 따르면 전체 1,574개소 중 22.8%에 해당하는 358개소가 먹는물 수질기준을 초과하였으며, 부적합 항목의 97.9%가 일반세균, 총대장균군 등 대부분 미생물이었다⁶⁾.

무등산 소재 약수터는 해발고도 350~500 m 사이에 분포하며, 등산로를 중심으로 11지점이 지정·관리되고 있다. 하지만 집수정 및 주변 청소 등 관리에도 불구하고 오염지표세균인 총대장균군과 같은 미생물이 검출되어 먹는물로 부적합 판정비율이 상대적으로 높아 안전성 확보가 큰 문제로 대두되었다. 이에 광주광역시에서는 2007~2008년에 약수터 10곳에 광촉매 표면에서 발생되는 OH 라디칼(OH·)의 강력한 산화력으로 세포대사를 중지하는 방법으로 알려진 광촉매 자외선 살균시설을 설치하여 소독하고 있다. 하지만 광촉매 자외선살균시설 설치 후에도 간헐적으로 총대장균군 등

[†]To whom correspondence should be addressed.

Tel: 82-62-613-7604, Fax: 82-62-613-7519, E-mail: ingyg@korea.kr

미생물이 검출되고 있다. 따라서 미생물 검출에 대한 원인조사 및 적절한 관리대책이 필요한 시점이다. 즉 시간·계절적 변화 또는 강우기간이나 강우량 등 특정한 시기에 약수의 수질변화를 알아보고, 미생물학적 안정성 확보를 목적으로 설치된 광촉매 자외선살균시설의 살균 효율을 규명하는 것이 절실히 필요하다.

이 연구에서는 무등산에 소재한 너덜경 약수터 등 6 곳을 대상으로 강우 기간동안 수질변화 특성 및 광촉매 자외선살균시설을 통과 후 미생물의 검출여부 등 살균 효율을 조사하였으며, 분리·동정을 통해 검출되는 미생물의 유형 및 유래 등 균종(species)을 파악하였다. 이를 통하여 강우가 집중되는 특정시기에 약수터를 이용하는 시민들에게 올바른 수질정보와 시설물의 적절한 수질관리방안 제시를 목적으로 한다.

2. 조사대상 및 방법

2.1. 조사지점 및 기간

무등산은 행정구역상 광주광역시 동구 및 북구와 전라남도 담양군 및 화순군에 위치하고 있으며, 지질학적 특성은 안산암(Andesite)을 기반암으로 하여 화색 내지

담회색을 띠고 반정은 주로 사장석으로 되어 있으며 간혹 석영 혹은 각섬석으로 구성되어 있다⁷⁾. 조사대상 약수터는 계곡수나 지표수를 관으로 연결하여 저류조를 통해 공급하는 형태로 계절이나 강우 등에 따라 영향을 받는다. 약수의 공급형태를 보면 천층으로 스며나오는 용출수 또는 계류수를 수집하기 위해 취수구를 인위적으로 만들어 수량을 확보한 후 긴 관을 연결하여 저류조에 유입된다. 저류조에서 밀도가 큰 모래, 미사 등 입자를 침전시켜 제거하고, 미세공극의 필터를 통해 미세 입자나 탁도 유발물질 등을 여과시켜 제거한 후 광촉매살균시설을 거쳐 소독되어 공급되는 구조이다.

지형적으로 설치가 불가능한 약수터 한 곳을 제외한 나머지 5지점에는 광촉매 자외선살균시설이 설치되었다. 늦재 및 평두메 약수터는 상시전기를 이용하여 살균시설이 가동되며, 너덜경, 봉황대 및 중머리재 약수터는 전기공급이 어려워 태양광 발전시스템을 이용하여 살균시설에 전기를 공급하는 형태이다. 조사기간은 2010년 4월, 5월, 7월, 8월 등 총 4회에 걸쳐 초기 강우부터 약 1주일동안 매일 채취하였다. 조사지점의 위치, 수원종류, 이용자 수, 시설유형 및 살균시설 전원공급 형태는 Table 1과 Fig. 1에 나타내었다.

Table 1. Sampling site and properties of spring water at Mudeung Mountain

Sampling site		Fountain head type	Population (user/day)	Facility type	Disinfection treatment		
Name	Location				Facility	type of supply	
S 1	평두메	Bukgu	low spring water	200	natural dropping	○	electric
S 2	늦재	Bukgu	surface	150	natural dropping	○	electric
S 3	너덜경	Donggu	low spring water	1500	natural dropping	○	solar
S 4	봉황대	Donggu	low spring water	400	natural dropping	○	solar
S 5	중머리재	Donggu	valley	800	natural dropping	○	solar
S 6	돌샘	Donggu	gush	800	natural dropping		



Fig. 1. Sampling sites in Mudeung Mountain.

Table 2. Analytical methods and instruments for each item

Items	Methods and Instruments	
pH	pH meter (ORION 250A, USA)	
NH ₃ -N	UV-VIS Spectrophotometer (SHIMADZU UV-1201, JAPAN)	
NO ₃ -N, F, Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻	Ion chromatograph (DIONEX DX600, USA)	
Consumption of KMnO ₄	Titration method	
Turbidity	Turbidity Method (HACH model 2100AN, USA)	
TDS	TDS meter (IQ 170, USA)	
Pb, As, Hg, Cr, Cu, Zn, Fe, Mn, Al, B, Se, Cd Na, K, Mg, Ca	ICP-MS (Agilent 7500A, USA)	
Microbiological	Total colony	Plate count method
	Total coliforms	Tube method
	Fecal coliforms	Tube method

2.2. 분석방법 및 항목

강우기간 동안 수질변화 특성을 파악하기 위해 pH, 전기전도도, KMnO₄ 소비량, 증발잔류물, 탁도, NH₃-N을 측정하였으며, 무기원소 성분으로 Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺를, 음이온 성분으로 F, Cl⁻, SO₄²⁻, NO₃-N을 조사하였다. 또한 중금속은 Cd, As 등 12항목을 조사하였다. pH는 현장에서 측정하였으며, 무균 채수병을 이용하여 채취한 후 시료는 4°C 이하로 냉장 운반하였다. 먹는물공정시험기준⁸⁾에 따라 분석하였으며, 분석방법 및 분석기기는 Table 2와 같다.

미생물 시험방법은 시료 100 mL를 여과 후 m-Endo agar(Difco, USA)배지에 35°C로 24시간 배양 후 금속성 광택을 띠는 분홍색이나 진홍색 계통 또는 광택이 없더라도 짙은 적색의 집락을 BGLB(Brilliant Green Lactodse Broth, Difco, USA)배지를 이용하여, 35°C에서 48시간 배양 후 가스가 발생된 것을 총대장균군 양성으로 하였다.

대장균군 균종을 확인하기 위해 BGLG양성 집락에 대해 EMB(Eosin Methylene Blue, Oxoid, UK)를 사용하여, 녹색의 금속광택 또는 보라색을 나타내는 집락을 선택하였다. 선택된 집락을 Tryptic Soy Agar(Oxoid, UK)에서 순수 분리 후 Vitek GN(biomerieux, France)으로 생화학적 동정을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 강우량 및 강우특징

강우에 따른 수질특성의 변화를 파악하기 위해 조사기간 동안 광주지방기상청의 기상자료⁹⁾를 이용하였다. 조사기간의 강우일수는 총 10일간이며, 10 mm 이하가

4일, 10~20 mm가 3일, 30 mm 이상이 3일로 나타났다. 최고 강우량은 5월 18일에 51.5 mm였으며, 8월 10일과 11일에 57 mm의 집중강우를 보였다. 조사기간의 평균기온은 4월은 11.1°C, 5월은 20.5°C, 7월은 24.6°C, 8월은 28.3°C로 나타났다. 조사기간의 강우량과 평균기온은 Table 3과 같다.

3.2. 강우에 따른 수질변화 특성

2010년 4월, 5월, 7월, 8월 등 총 4회에 걸쳐 강우

Table 3. The amount of rainfall and average temperature of sampling date in Gwangju

month	day	rainfall (mm)	average temperature (°C)
April	26	37	14.4
	27	0	10.5
	28	13.5	7.2
	29	0	10.9
	30	0	12.7
May	17	10	19.7
	18	51.5	19.8
	19	4.0	20.3
	20	0	22.4
July	12	0	24.6
	13	5.5	23.1
	14	0	25.4
	15	0.5	25.2
August	2	8.0	28.9
	4	0	29.7
	9	0	29.4
	10	42.5	26.3
	11	14.5	27.2

전후 약 1주일 동안 조사한 6곳 약수터의 수질검사 결과는 Table 4~6에 나타내었다.

3.2.1. 이화학적 수질

강우시기에 일별 수질변화를 알아보기 위해 pH, TDS 등 이화학적 수질을 조사하였다. 조사지점의 pH는 6.2~7.3의 범위로 먹는물 수질기준인 5.8~8.5에 만족하였다. pH는 건강상의 영향과는 직접적인 관련이 없는 것으로 알려져 있으며, 유기물이 분해될 때 발생하는 CO₂가 많이 용해된 물은 약산성을 나타내고, HCO₃⁻ 또는 CO₃²⁻ 이온을 함유한 경우에는 약알칼리성을 나타내게 된다.

KMnO₄ 소비량은 물속의 산화되기 쉬운 물질에 의해 소비되는 과망간산칼륨의 양으로서 수중에 존재하는 유기물량의 간접지표이며, 소비량이 크면 냄새와 맛을 유발하고 수인성질병을 일으킬 가능성이 있다. KMnO₄ 소비량의 범위는 0.7~2.8 mg/L로 먹는물 수질기준(10 mg/L) 이내로 나타났다. 이는 유기물 함량이 높지 않아 강우에도 주변 환경이나 오염요인 등 영향을 크게 받지 않는 것으로 나타났다.

다량 존재 시 맛에 영향을 미치는 물질로 알려진 SO₄²⁻의 농도는 1.4~4.4 mg/L 범위였다. 물의 상태를 영구경도로 고정시키는 역할을 하는 황산이온은 인간을 포함한 동물의 대·소변 등에 의해 영향을 받으며, 주로 지질에서 기인된다¹⁰⁾.

자연계에서 NaCl, KCl, CaCl₂ 등 염화물 형태로 존재하는 Cl⁻의 농도범위는 2.4~4.1 mg/L였다. SO₄²⁻와 마찬가지로 고농도로 존재 시 맛을 유발하는 물질로 알려진 염소이온(Cl⁻)은 가정하수, 분뇨 등 인위적인 요인에 의해 나타난다.

총용존 고형물질(total dissolved solid, TDS)의 농도는 15~34 mg/L 범위였으며, 돌샘약수터가 가장 높았다. 총용존 고형물질의 함량은 수중의 용존물질의 함량과 비례하며, 물을 증발시켰을 때 잔류하는 물질인 칼슘, 마그네슘, 나트륨 등 미네랄 성분으로 이루어져 있다. 총용존 고형물질의 증가 원인은 암석과 물의 반응이 장기간 진행된 심도가 깊은 지하수에서 일어날 수 있으며, 오염물질의 유입에 의한 다량의 용존물질과 염류들 때문이다. 5월 중 50 mm 이상 강우 시 총용존 고형물질의 농도가 다소 증가하였으나, 1~2일 후 안정 상태를 유지하였으며, 7월 중 5.5 mm의 강우에는 거의 일정하였다. 즉 집중 강우나 연속 강우에도 불구하고 총용존 고형물질 농도의 변화는 크지 않은 것으로 나

타났다.

탁도(turbidity)는 점토, 미사(silt), 콜로이드입자 및 미생물 등 미세 입자들의 존재로 발생하며, 빛의 흡수와 산란에 영향을 미친다. 탁도는 다른 항목과는 달리 초기 강우와 강우량에 따라 큰 변동을 나타내었다. 51.5 mm의 최고 강우량을 나타낸 5월 18일에 너털경, 늦재 약수의 경우 수질기준을 초과하였다. 이는 미세입자를 포함한 약수가 저류조를 통과한 후 살균시설 전단에 설치된 미세공극의 필터를 통해 탁도를 유발하는 물질이 제거되지만, 연속 강우나 집중 강우 시 여과 용량이 초과되어, 그 기능을 상실하기 때문이다.

자연계에서 화강암지대의 형석 등 광물질속에 불소염 형태로 존재하는 불소(F⁻)는 모든 지점에서 검출되지 않았다.

각 지점에서 검출되는 NO₃-N의 농도는 0.4~2.0 mg/L의 범위로 중머리재 약수터의 경우 2.0 mg/L로 가장 높았다. NO₃-N는 산소를 전달하는 헤모글로빈과 결합하여 산소전달을 방해하여 체내에 산소공급량을 저하시킨다. NO₃-N의 농도가 10 mg/L 이상의 지하수 또는 지표수를 음용수로 사용하는 경우 만 1세 미만의 유아(특히 생후 3개월 이하)에게 청색증(blue baby syndrome)을 일으켜 심한 경우 죽음에 이를 수도 있는 것으로 알려져 있다.

분변오염 또는 동식물과 같은 유기물의 부패 등 급성오염의 지표인 암모니아성 질소는 모든 지점에서 검출되지 않았다. 그리고 납, 수은, 비소 등 중금속 역시 검출한계 이하이거나 불검출이었다.

4월, 5월, 7월, 8월에 6개 지점을 대상으로 조사한 결과에 따르면 pH, KMnO₄ 소비량, Cl⁻, SO₄²⁻, TDS의 농도 변화는 각 월별로는 다소 차이가 있지만, 강우 기간이나 집중강우에도 큰 변화를 보이지 않았다. 강우 특징이 뚜렷한 7월을 보면, 12일은 강우 전에 채수된 시료와 5.5 mm의 강우량을 나타낸 13일을 비교하면, pH, TDS, 이온성 물질(SO₄²⁻, Cl⁻)은 각 약수의 수질은 큰 차이가 없었다. 또한 3일간 65 mm로 강우가 집중되었던 5월의 경우에도 각 약수의 농도 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 이는 무등산 약수의 수원이 심층수나 용천수가 아닌 천층수 또는 우수의 영향을 받는 표층수이기 때문이다. 송 등(2003)이 제시한 대구 달비 약수터의 수질과 영향인자에 대한 연구에서 하절기에 기온의 상승, 강수량의 증가 그리고 탐방객의 증가 등 복합요인에 의한 매우 불안정한 수질을 보인 것과는 달리 무등산 약수의 경우 월별 또는 계절별로 큰 차이는

Table 4. The water quality on Pyeongdume and Neutjae

Unit : mg/L, except turbidity(NTU)

	평두메												늦재											
	pH	Turbidity	KMnO ₄		F	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻	Na	Mg	K	Ca	pH	Turbidity	KMnO ₄		F	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻	Na	Mg	K	Ca
			Consum	TDS											Consum	TDS								
4/26	6.5	0.15	0.8	14	0.0	3.1	1.1	2.0	3.098	0.723	0.224	1.145	6.9	0.15	0.8	15	0.0	2.4	0.5	1.2	3.178	0.686	1.119	1.069
4/27	6.4	0.12	0.9	19	0.0	3.3	1.2	2.1	3.706	0.960	0.241	1.384	6.5	0.33	0.9	14	0.0	2.3	0.6	1.3	2.813	0.698	0.146	0.963
4/28	6.5	0.10	1.0	19	0.0	3.7	1.1	2.1	3.666	0.932	0.210	1.263	6.6	0.21	1.0	14	0.0	2.4	0.5	1.2	2.757	0.657	0.127	0.897
4/29	6.4	0.08	0.8	19	0.0	3.2	1.1	2.1	3.846	0.972	0.234	1.316	6.6	0.20	0.8	14	0.0	2.4	0.5	1.3	2.880	0.709	0.140	0.901
4/30	6.4	0.07	1.0	19	0.0	3.1	1.0	1.9	3.961	0.994	0.244	1.412	6.5	0.15	1.0	14	0.0	2.4	0.4	1.1	3.049	0.692	0.128	0.848
5/17	6.5	0.06	0.9	19	0.0	2.9	1.0	2.0	3.582	0.868	0.127	1.431	6.3	0.12	0.9	14	0.0	2.4	0.3	1.1	2.998	0.603	0.072	0.971
5/18	6.5	0.39	1.0	19	0.0	2.2	1.3	2.8	3.028	0.903	0.206	1.652	6.3	2.88	1.0	15	0.0	2.3	0.4	1.3	2.683	0.663	0.127	1.023
5/19	6.4	0.11	0.7	20	0.0	3.1	1.2	2.1	3.779	1.135	0.258	1.789	6.4	0.30	0.7	15	0.0	2.6	0.5	1.4	2.975	0.854	0.165	1.286
5/20	6.5	0.81	0.9	20	0.0	3.2	1.1	2.1	4.386	1.206	0.294	1.929	6.4	0.17	0.9	15	0.0	2.6	0.4	1.3	3.352	0.901	0.197	1.369
7/12	6.7	0.10	1.8	20	0.0	3.1	1.0	2.5	4.933	1.051	0.308	1.721	6.9	0.13	2.4	15	0.0	2.4	0.6	1.5	4.377	0.961	0.281	1.524
7/13	6.7	0.10	1.9	19	0.0	2.9	0.9	2.6	5.654	1.252	0.360	2.038	6.7	0.16	1.9	14	0.0	2.3	0.5	1.3	4.185	0.882	0.253	1.468
7/14	6.7	0.12	1.9	20	0.0	2.9	0.9	2.4	4.868	1.064	0.289	1.806	6.7	0.27	1.7	15	0.0	2.6	0.4	1.5	3.999	0.846	0.250	1.419
7/15	6.8	0.26	1.3	23	0.0	2.8	0.9	2.5	4.790	1.090	0.300	1.825	6.7	0.28	1.3	15	0.0	2.4	0.4	1.4	3.827	0.813	0.236	1.391
8/2	6.8	0.10	1.9	20	0.0	2.9	0.8	2.4	3.496	0.954	0.254	1.526	6.4	0.34	2.1	16	0.0	2.6	0.3	1.5	2.906	0.714	0.193	1.141
8/4	6.7	1.20	1.7	19	0.0	2.8	0.8	2.4	3.517	0.911	0.240	1.465	6.6	0.93	1.9	16	0.0	2.3	0.3	1.6	2.960	0.736	0.192	1.175
8/9	6.7	0.07	0.7	20	0.0	2.9	0.9	2.5	3.514	0.943	0.250	1.523	6.6	0.32	1.5	15	0.0	2.4	0.4	1.5	2.966	0.745	0.196	1.095
8/10	6.7	0.20	2.1	20	0.0	2.9	0.9	2.4	3.526	0.962	0.234	1.514	6.7	0.93	1.0	15	0.0	2.3	0.4	1.4	2.912	0.739	0.194	1.124
8/11	6.7	0.16	1.5	19	0.0	2.8	1.0	2.5	3.519	0.912	0.243	1.553	6.6	0.23	1.5	15	0.0	2.4	0.3	1.5	2.934	0.748	0.192	1.149
mean	6.6	0.24	1.2	19	0.0	3.0	1.0	2.3	4.021	1.000	0.252	1.672	6.6	0.43	1.0	15	0.0	2.4	0.4	1.4	3.061	0.862	0.263	1.334
SD	0.2	0.32	0.2	2	0	0.4	0.2	0.3	0.7	0.1	0.1	0.3	0.2	0.68	0.1	0.5	0	0.1	0.1	0.2	1.0	0.4	0.3	0.3
Permitted limit ¹⁾	5.8~8.5	<1	<10	* 2)	<1.0	<250	<10	<200	*	*	*	*	5.8~8.5	<1	<10	*	<1.0	<250	<10	<200	*	*	*	*

1) means the standard for drinking water. 2) means not specified.

Table 5. The water quality on Neodeolgeong and Bonghwangdae

Unit : mg/L, except turbidity(NTU)

	너덜경												봉황대											
	pH	Turbidity	KMnO ₄		F	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻	Na	Mg	K	Ca	pH	Turbidity	KMnO ₄		F	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻	Na	Mg	K	Ca
			Consum	TDS											Consum	TDS								
4/26	6.5	0.33	0.8	18	0.0	2.4	0.7	1.5	3.897	0.838	0.430	1.649	6.5	0.06	0.8	24	0.0	4.0	0.8	1.9	5.345	1.380	0.360	2.146
4/27	6.4	0.12	0.9	19	0.0	3.3	1.2	2.1	3.706	0.960	0.241	1.384	6.5	0.33	0.9	14	0.0	2.3	0.6	1.3	2.813	0.698	0.146	0.963
4/28	6.5	0.10	1.0	19	0.0	3.7	1.1	2.1	3.666	0.932	0.210	1.263	6.6	0.21	1.0	14	0.0	2.4	0.5	1.2	2.757	0.657	0.127	0.897
4/29	6.4	0.08	0.8	19	0.0	3.2	1.1	2.1	3.846	0.972	0.234	1.316	6.6	0.20	0.8	14	0.0	2.4	0.5	1.3	2.880	0.709	0.140	0.901
4/30	6.4	0.07	1.0	19	0.0	3.1	1.0	1.9	3.961	0.994	0.244	1.412	6.5	0.15	1.0	14	0.0	2.4	0.4	1.1	3.049	0.692	0.128	0.848
5/17	6.5	0.06	0.9	19	0.0	2.9	1.0	2.0	3.582	0.868	0.127	1.431	6.3	0.12	0.9	14	0.0	2.4	0.3	1.1	2.998	0.603	0.072	0.971
5/18	6.5	0.39	1.0	19	0.0	2.2	1.3	2.8	3.028	0.903	0.206	1.652	6.3	2.88	1.0	15	0.0	2.3	0.4	1.3	2.683	0.663	0.127	1.023
5/19	6.4	0.11	0.7	20	0.0	3.1	1.2	2.1	3.779	1.135	0.258	1.789	6.4	0.30	0.7	15	0.0	2.6	0.5	1.4	2.975	0.854	0.165	1.286
5/20	6.5	0.81	0.9	20	0.0	3.2	1.1	2.1	4.386	1.206	0.294	1.929	6.4	0.17	0.9	15	0.0	2.6	0.4	1.3	3.352	0.901	0.197	1.369
7/12	6.7	0.10	1.8	20	0.0	3.1	1.0	2.5	4.933	1.051	0.308	1.721	6.9	0.13	2.4	15	0.0	2.4	0.6	1.5	4.377	0.961	0.281	1.524
7/13	6.7	0.10	1.9	19	0.0	2.9	0.9	2.6	5.654	1.252	0.360	2.038	6.7	0.16	1.9	14	0.0	2.3	0.5	1.3	4.185	0.882	0.253	1.468
7/14	6.7	0.12	1.9	20	0.0	2.9	0.9	2.4	4.868	1.064	0.289	1.806	6.7	0.27	1.7	15	0.0	2.6	0.4	1.5	3.999	0.846	0.250	1.419
7/15	6.8	0.26	1.3	23	0.0	2.8	0.9	2.5	4.790	1.090	0.300	1.825	6.7	0.28	1.3	15	0.0	2.4	0.4	1.4	3.827	0.813	0.236	1.391
8/2	6.8	0.10	1.9	20	0.0	2.9	0.8	2.4	3.496	0.954	0.254	1.526	6.4	0.34	2.1	16	0.0	2.6	0.3	1.5	2.906	0.714	0.193	1.141
8/4	6.7	1.20	1.7	19	0.0	2.8	0.8	2.4	3.517	0.911	0.240	1.465	6.6	0.93	1.9	16	0.0	2.3	0.3	1.6	2.960	0.736	0.192	1.175
8/9	6.7	0.07	0.7	20	0.0	2.9	0.9	2.5	3.514	0.943	0.250	1.523	6.6	0.32	1.5	15	0.0	2.4	0.4	1.5	2.966	0.745	0.196	1.095
8/10	6.7	0.20	2.1	20	0.0	2.9	0.9	2.4	3.526	0.962	0.234	1.514	6.7	0.93	1.0	15	0.0	2.3	0.4	1.4	2.912	0.739	0.194	1.124
8/11	6.7	0.16	1.5	19	0.0	2.8	1.0	2.5	3.519	0.912	0.243	1.553	6.6	0.23	1.5	15	0.0	2.4	0.3	1.5	2.934	0.748	0.192	1.149
mean	6.7	1.21	1.2	18	0.0	2.5	0.7	2.0	3.510	1.086	0.452	1.69	6.7	0.10	1.1	22	0.0	4.0	0.6	1.9	5.261	1.330	0.252	1.870
SD	0.2	3.01	0.4	1.3	0	0.2	0.1	0.4	1.1	0.9	0.1	0.2	0.2	0.05	0.3	1.3	0	0.5	0.3	0.4	1.8	0.6	0.3	0.8
Permitted limit ¹⁾	5.8~8.5	<1	<10	* 2)	<1.0	<250	<10	<200	*	*	*	*	5.8~8.5	<1	<10	*	<1.0	<250	<10	<200	*	*	*	*

1) means the standard for drinking water. 2) means not specified.

Table 6. The water quality on Jungmeorijae and Dolsaem

Unit : mg/L, except turbidity(NTU)

	중머리재												돌샘												
	pH	Turbidity	KMnO ₄		F	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻	Na	Mg	K	Ca	pH	Turbidity	KMnO ₄		F	Cl ⁻	NO ₃ -N	SO ₄ ²⁻	Na	Mg	K	Ca	
			Consum	TDS											Consum	TDS									
4/26	6.6	0.11	1.3	32	0.0	4.6	2.2	3.7	7.819	2.058	0.373	3.787													
4/27	6.5	0.16	1.2	31	0.0	4.7	2.3	3.8	5.198	1.670	0.029	3.132													
4/28	6.4	0.13	0.9	30	0.0	4.6	2.1	3.7	4.956	1.551	0.000	3.011													
4/29	6.4	0.11	0.8	30	0.0	4.7	2.1	3.7	5.415	1.636	0.000	3.418													
4/30	6.5	0.12	0.8	29	0.0	4.6	2.1	3.8	5.521	1.603	0.000	3.512													
5/17	6.4	0.28	1.0	31	0.1	4.0	2.0	4.5	4.735	1.553	0.000	3.023	6.3	1.51	1.2	36	0.0	3.8	0.7	4.0	6.128	1.832	0.386	4.716	
5/18	6.6	0.93	1.6	30	0.0	3.8	2.0	4.5	4.917	1.492	0.000	2.896	6.8	0.18	1.1	35	0.0	4.0	0.8	5.8	5.757	1.690	0.377	4.536	
5/19	6.5	0.13	0.8	30	0.0	4.7	2.6	4.1	5.278	1.993	0.041	3.638	6.8	0.13	1.9	36	0.0	3.6	0.5	2.4	6.536	1.750	0.310	4.666	
5/20	6.5	0.10	0.9	29	0.0	4.6	2.4	4.0	5.826	2.192	0.068	3.952	6.9	0.28	2.2	34	0.0	3.5	0.5	2.1	7.045	1.859	0.361	4.989	
7/12	6.4	0.15	1.7	29	0.0	3.5	1.5	4.9	6.377	1.473	0.092	2.858	6.9	0.17	2.1	36	0.0	3.3	0.5	2.7	8.934	1.963	0.399	5.454	
7/13	6.5	0.11	1.7	30	0.0	3.7	1.6	4.8	6.543	1.690	0.085	3.198	6.9	0.26	1.9	36	0.0	3.3	0.5	2.7	7.785	1.677	0.362	4.735	
7/14	6.5	0.11	1.4	30	0.0	4.0	1.6	4.8	6.773	1.794	0.099	3.425	6.8	0.36	2.3	35	0.0	3.3	0.5	2.3	9.468	2.022	0.433	5.541	
7/15	6.4	0.15	1.4	30	0.0	3.9	1.6	4.8	7.563	2.055	0.146	3.918	6.9	0.19	2.3	33	0.0	3.5	0.4	2.0	6.553	1.749	0.103	3.459	
8/2	6.6	0.28	2.1	29	0.0	3.6	1.7	4.7	4.627	1.578	0.049	3.084	6.9	0.23	2.0	35	0.0	3.4	0.3	1.8	6.051	1.525	0.371	4.333	
8/4	6.5	0.13	2.8	29	0.0	3.7	1.9	4.8	4.841	1.625	0.072	3.201	6.8	0.69	2.6	35	0.0	3.4	0.2	1.8	5.501	1.436	0.284	4.123	
8/9	6.7	0.07	1.6	30	0.0	3.9	2.1	4.8	3.514	0.943	0.090	2.523	6.6	0.32	2.3	36	0.0	3.4	0.4	2.5	6.966	0.745	0.196	3.895	
8/10	6.6	0.81	1.6	30	0.0	4.1	2.2	4.6	3.526	0.962	0.064	2.514	6.7	0.43	2.1	35	0.0	3.4	0.4	1.9	6.912	0.739	0.194	4.124	
8/11	6.7	0.16	1.5	31	0.0	4.0	2.0	4.6	3.519	0.912	0.103	2.553	6.6	0.23	2.1	34	0.0	3.3	0.5	2.2	6.934	0.748	0.192	3.649	
mean	6.6	0.20	1.6	30	0.0	4.1	2.0	4.4	5.432	1.601	0.098	3.130	6.6	0.35	2.2	34	0.0	3.5	0.5	2.6	6.981	1.423	0.268	3.914	
SD	0.2	0.20	0.4	1.0	0	0.5	0.3	0.5	0.8	0.2	0.1	0.4	0.1	0.6	0.6	1	0	0.2	0.2	1.2	1.5	0.2	0.1	0.6	
Permitted limit ¹⁾	5.8~8.5	<1	<10	* 2)	<1.0	<250	<10	<200	*	*	*	*	5.8~8.5	<1	<10	*	<1.0	<250	<10	<200	*	*	*	*	

1) means the standard for drinking water. 2) means not specified.

없었다²⁾. 또한 김 등(2007)이 동일지점에 대해 2개월 간격으로 6회에 걸쳐 조사한 결과에 의하면 Cl^- , SO_4^{2-} , $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 평균농도의 범위는 각각 2.0~3.8 mg/L, 0.8~4.7 mg/L, 0.2~1.8 mg/L로 나타나 본 연구결과와 유사하였다.¹¹⁾ 김 등(2007) 연구는 같은 지점을 대상으로 조사한 강우의 영향을 받지 않은 시기 및 시간적·계절적 변화를 반영한 연중 평균농도라는 점에서 본 연구결과와 비교하는 것은 그 의미가 크다. 그리고 김 등(2001)의 광주지역 우수중 음이온 함량 조사연구에 의하면 Cl^- , SO_4^{2-} 의 농도범위는 0.3~5.5 mg/L, 4.2~10.9 mg/L로 본 연구와 유사한 결과를 나타냈다¹²⁾. 따라서 무등산 약수의 대부분은 지하로 이동하면서 암석이나 토양층의 무기성분과 지속적으로 반응이 거의 이루어지지 않는 지표수 또는 강우에 의존하는 우수라 할 수 있다.

3.2.2 미네랄 성분

미네랄은 생명유지와 건강에 필요한 영양소로 모든 생물의 성장 및 생존에 필수적이다. Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , K^+ 와 같은 미네랄 성분을 대상으로 무등산 약수의 수질특성과 강우 전후 변화를 조사하였다.

나트륨(Na)은 근육 신경조절, 체액 pH 평형유지 및 삼투압 조절에 작용하는 물질로, 비교적 지하수에 많은 양이 용해되어 있으며, 주로 사장석이 풍화되거나, 점토광물에서 용출된다¹⁶⁾. 또한 나트륨은 용해성이 크므로 침전되거나 토양에 흡착되지 않는다. 조사대상 약수터의 나트륨의 농도는 3.061~6.981 mg/L의 범위였다. 강우에 따른 나트륨의 농도의 변화는 모든 약수에서 뚜렷한 변화를 보이지 않았다. 하지만 집중강우를 보인 특정시기에 약간 낮아지는 경향을 보였다.

마그네슘(Mg)은 세포내의 삼투압이나 산·알카리 균형, 체온 조절, 근육의 자극 감수성을 높이는 작용을 하며, 주로 백운암, 감람석, 흑운모 등에 기인한다¹⁶⁾. 마그네슘의 농도는 0.862~1.601 mg/L의 범위였으며, 중머리재 약수가 가장 높았다.

칼슘(Ca)은 석회암, 백운암 등을 포함한 토양이나 암석 사이를 지하수가 통과할 때 용해된다. 칼슘은 골격, 치아형성, 심장수축조절, 혈액응고 작용을 하며, 생리적 및 생화학적 과정에 필수적인 역할을 하며, 체내에 가장 풍부한 양이온이다¹⁶⁾. 칼슘의 평균농도는 1.334~3.914 mg/L로 돌샘약수가 가장 높은 농도를 보였다.

칼륨(K)은 세포의 삼투압 조절, 염분 조절, 심장기능의 활성화, 근육신경의 흥분조절 작용을 하며¹⁶⁾, 평균농

도는 0.098~0.452 mg/L로 너덜정약수가 가장 높았다.

조사대상 약수중 미네랄 성분의 분포는 돌샘 약수가 다소 높은 농도로 조사된 것을 제외하면 모든 약수에서 거의 비슷하였다. 미네랄 성분의 함량 순서는 Na^+ 가 가장 높으며, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ 의 순서였다. 일반적으로 지하수 중 미네랄 함량의 특성은 암석내의 공극을 통하여 이동하는 동안 암석과 장기간 접촉하게 되므로 암석을 구성하는 성분들과 밀접하게 연관되어 있다.

무등산 내 약수터의 위치, 구조 및 유량의 변화를 보면 평두메, 돌샘 및 봉황대 약수터는 석관수 혹은 주변 용출수를 파이프를 연결하여 도로 혹은 등산로 주변에 설치되어 있다. 비교적 수량이 풍부한 편이지만, 계절에 따라 수량의 편차가 크게 나타나며, 갈수기에는 수원이 고갈된다. 늦재, 너덜정 및 중머리재 약수터는 계류수를 취수하여 약수가 공급된다. 이들 약수터는 비교적 수량이 안정되어 있는 편이지만 계절 또는 강우시기에 따라 유량과 수질이 큰 영향을 받는다¹⁵⁾.

안 등(2009)이 300지점을 대상으로 조사한 광주지역 음용 지하수중 미네랄성분 분포 연구결과에 따르면 Na^+ , Mg^{2+} , K^+ , Ca^{2+} 의 평균농도는 33.8 mg/L, 10.5 mg/L, 2.7 mg/L, 28.0 mg/L였다¹³⁾. 안 등(2009)의 결과와 비교하면 무등산 약수의 미네랄 성분의 농도는 모든 지점에서 상당히 낮다. 이는 무등산을 구성하는 기반암의 종류와 관계가 깊은 것으로 생각된다. 김 등(1997)은 대구지역에 분포하는 약수의 화학적 특성 연구에서 Na^+ 는 사장석이 카올로나이트로 풍화되고, K^+ 는 백운모가 카올리나이트로 풍화되면서, Ca^{2+} , Mg^{2+} 는 탄산염 광물의 용해에 의해 공급 등 거의 기반암의 종류에 의해 약수중 미네랄 함량이 결정된다고 하였다¹⁴⁾. 박 등(1999)의 연구에 의하면 광주시 주변의 기반암이 화강암체인 점을 고려하면 지하수 중의 Mg^{2+} 나 Ca^{2+} 의 기원이 될 석회석이나 백운석이 존재할 가능성이 희박한 것으로 보고하였다⁷⁾.

김 등(2007)의 연구에서도 나트륨, 마그네슘, 칼륨 그리고 칼슘의 평균농도는 7.0 mg/L, 1.7 mg/L, 0.6 mg/L, 3.4 mg/L로 나타나 본 연구결과와 상당히 유사하였다¹¹⁾. 이와 같이 무등산 약수의 미네랄 함량은 심층 지하수와 시판되는 먹는샘물의 함량과 비교하면 상대적으로 적은 것으로 나타났다. 이는 토양에 유입된 빗물이 암석 또는 토양과의 물리·화학적 반응이 짧기 때문에 자연수의 화학조성에 큰 변화가 없는 것으로 생각된다. 즉 강우나 온도와 같은 기상학적 요인이 자연수의 특성에 중요한 영향을 미치지, 자연수의 화학적

성질은 기반암(bedrock)의 종류에 따라 암석과 물의 반응정도가 달라진다¹⁵⁾. 특히 김 등(2001)의 광주지역 우수중 양이온 함량 조사연구에 따르면 나트륨, 마그네슘, 칼륨, 칼슘의 농도범위는 2.2~4.1 mg/L, 0.1~0.6 mg/L, 0.2~1.4 mg/L, 0.3~3.5 mg/L로 나타났다¹²⁾. 따라서 무등산 약수의 수질특성은 이화학적 성분의 결과와 마찬가지로 미네랄 함량에서도 알 수 있듯이 지하수의 유동경로와 토양과의 반응시간이 짧은, 즉 경우에 직접 영향을 받는 지표수로 판단된다.

3.2.3. 미생물

인간이나 온혈동물의 분변에 많은 수로 폭넓게 존재하는 총대장균군 등이 물에서 검출되면 장내병원균이 존재할 위험성이 있다. 무등산 약수터의 경우 출입제한, 주변 청소 등 오염을 최소화하기 위한 다양한 노력에도 불구하고 총대장균군 등 미생물이 검출되고 있

다. 따라서 미생물의 검출로 인한 단기적 위해 및 수인성 전염병을 예방하기 위해 2007~2008년에 광촉매 자외선살균시설을 설치하였다. 살균시설의 통과 전후 시료를 채수하여 먹는물 수질기준에서 규정한 미생물의 살균 정도 및 효율을 비교하였으며, 결과는 Table 7과 같다.

일반세균은 유기영양매지에서 성장하는 종속영양세균을 말하며, 병원성 세균이나 분변성 오염의 지표세균이 아니므로 그 자체로 건강상에 해를 끼치지 않는 것으로 알려져 있다. 그러나 먹는물 수질기준인 100 CFU 이하/mL를 초과한 경우는 병원성균의 존재가능성이 있다. 연구 결과에 따르면 살균시설 통과 전·후의 모든 시료에서 일반세균은 먹는물 수질기준 이내 또는 불검출이었다.

인간 또는 온혈동물의 분변에 많은 수로 폭넓게 존재하는 총대장균군은 세균분류상 *Enterobacteriaceae*에

Table 7. Positive rate of microorganism from spring water in Mudeung Mountain

Name	month	Before flow of sterilizer facility			After flow of sterilizer facility		
		Total colony	Total coliforms	Fecal coliforms	Total colony	Total coliforms	Fecal coliforms
Permitted limit ¹⁾		100CFU/mL	ND/100 mL	ND/100 mL	100CFU/mL	ND/100 mL	ND/100 mL
평두메	April (n ²⁾ =5)	0	5 ³⁾	3	0	4	2
	May (n=4)	0	4	4	0	4	3
	July (n=4)	0	4	3	0	4	3
	August (n=4)	0	4	3	0	4	3
늦재	April (n=5)	0	3	0	0	0	0
	May (n=4)	0	1	1	0	0	0
	July (n=4)	0	2	1	0	1	0
	August (n=4)	0	1	0	0	0	0
너털경	April (n=5)	0	2	1	0	2	1
	May (n=4)	0	1	1	0	1	1
	July (n=4)	0	4	4	0	4	4
	August (n=4)	0	3	2	0	3	2
봉황대	April (n=5)	0	2	1	0	0	0
	May (n=4)	0	4	3	0	1	1
	July (n=4)	0	4	4	0	4	4
	August (n=4)	0	3	3	0	3	3
중머리재	April (n=5)	0	4	4	0	2	1
	May (n=4)	0	3	3	0	3	3
	July (n=4)	0	4	4	0	4	4
	August (n=4)	0	3	3	0	3	3
돌샘	April	-	-	-	-	-	-
	May (n=2)	0	2	0	-	-	-
	July (n=4)	0	4	3	-	-	-
	August (n=4)	-	2	1	-	-	-

1) means the standard for drinking water. 2) means the number of survey. 3) means the number of positive.

속하는 세균으로써 36~37°C에서 유당을 분해하고 산과 가스를 생성하는 그람 음성, 비아포성 간균으로 oxidase 음성인 세균을 총칭하며, 검출 시 병원성균이 존재할 가능성이 있다¹⁷⁾. 총대장균군은 광촉매자외선 살균시설을 통과하기 전 시료에서는 전체 약수터의 80% 이상이 검출되었으며, 살균시설을 통과 후에도 평두메, 봉황대, 중머리재의 경우 월별 또는 계절별로 그리고 강우 시기나 강우량에 상관없이 검출되었다. 특히 7월과 8월에 늦재 약수를 제외한 모든 약수에서 총대장균군이 검출되어 음용수로서는 부적합한 것으로 나타났다.

분원성대장균군은 44~45°C에서 유당을 발효할 수 있는 세균으로, 인간이나 동물, 조류의 분변에 많은 수가 존재하고 설사, 경련 등 급성 영향을 줄 수 있다. 총대장균군의 검출과 마찬가지로 분원성대장균군의 부적률은 높았다. 이는 약수터의 위치와 지형적인 영향으로 생각된다. 즉 계곡수를 취수하여 수원으로 이용하므로 취수 지점과 약수터와의 거리가 50~400 m 정도 떨어져 있어 긴 관을 연결하여 공급하는 형태이다. 따라서 관 내부에 침전 또는 부착된 토사나 낙엽 등 오염물질이 미생물의 성장이나 증식에 영향을 미치기 때문으로 생각된다. 또한 집수정이 노후하거나 지표면과 접촉하여 설치되어 있어 오염물질이 유입될 가능성이 상존하고 있으며, 무엇보다도 지표수가 땅으로 스며들어 집수정에 모아진 후 공급되는 구조이므로 미생물이 검출될 가능성이 크다.

강우 전·후시기에 광촉매 살균시설을 통과 후 총대장균군과 분원성대장균군은 늦재 약수터를 제외하고는 거의 모든 약수터에서 검출되었다. 즉 강우시기에 소독효율의 저하 또는 감소되는 것을 알 수 있다. 이는 살균시설의 전원이 늦재 약수의 경우 상용 전력을 이용하여 계속 가동되지만, 너덜경 약수 등 3지점은 태양광을 이용하여 전기를 생산하여 살균시설을 가동하는 것과는 큰 차이가 있었다. 태양광 전원은 거리, 지형 등 문제로 인해 상시 전력을 공급하기 어려운 장소를 대상으로 태양에너지를 전기에너지로 변환시켜 공급하는 장치이다. 따라서 일정하게 안정적으로 공급되는 상용 전력과는 달리 기상 또는 기후 변화와 같은 자연적 요인에 따라 전기 공급이 불안정할 수 있다. 즉 태양광 전원의 문제점은 비가 오거나 날씨가 흐린 경우 태양 에너지의 집적되는 양이 적고, 충전된 전기 에너지를 이용하므로 강우 또는 흐린 날씨가 지속되는 경우 충전은 되지 않고, 소모되어 광촉매자외선 살균시설의 가

동이 중지될 가능성이 있다.

아울러 천동, 번개 등 우발적 사고에 의한 살균시설 가동의 중단 등 자연적인 원인과 저류조나 약수터 주변의 청소 소홀이나 자외선 살균 램프 교체 주기 및 고장 시 수리의 지연 등 유지관리에 소홀할 경우에도 수질에 큰 영향을 미칠 수 있다. 따라서 태양광 전원을 비롯한 광촉매 살균시설에 대한 적절한 유지와 세심한 관리가 약수터를 이용하는 시민들에게 미생물학적으로 안전한 먹는물 공급에 무엇보다 중요하다고 할 수 있다.

3.2.4. 균종 분리 및 분포

대장균군은 분변오염의 지표로 소화기계 병원균에 의한 오염의 가능성을 추정할 수 있으며, 또한 외부에 대한 저항성이 병원균과 비슷하거나 강해서 병원균이 검출되면 대장균군도 많이 존재하고 물속에서 현저하게 증식하지 않으면서 검출방법이 간단하고 비교적 정확한 결과를 나타내어 오염의 지표로 많이 이용되고 있다¹⁷⁾. 대장균군에 속하는 세균 중에는 *Escherichia coli*, *Klebsiella pneumoniae*는 분변 유래이지만, *Enterobacter aerogenes*, *Ent. cloacae*는 분변 및 자연계에 모두 존재하는 중간형이고, *Erwinia carotovora*, *Citrobacter freundii*는 식물, 토양, 물 등에서 유래하는 자연계에 존재하는 균이다¹⁸⁾. 또한 *Serratia liquefaciens*, *Rahnella agnatis*, *Buttiauxella agresti*는 분변에서는 거의 발견되지 않고 상대적으로 양질의 먹은물에서 증식할 수 있는 균종들이다¹⁹⁾.

무등산 약수에서 대장균군 양성판정 후 분리한 세균 214주를 대상으로 균 분리 동정결과 총 16균종이 동종 확인되었으며, 결과는 Table 8에 나타내었다. 이 가운데 *Escherichia* 속균이 70주(32.7%)로 가장 많았으며, *Citrobacter* 균이 57주(27.6%)로 나타났다.

각 약수터별 균종분포를 살펴보면, 늦재 약수는 총 7균종 50주가 분리 동정되었다. 균종별 분리빈도는 *C. freundii*가 33주(66%)로 가장 많았으며, *E. coli*는 13주(26%)가 분리되었다. 분변오염과 관련이 많은 *E. coli*보다 자연계에서 흔히 발견되는 *C. freundii*가 많이 검출되어, 늦재 약수의 총대장균군의 오염원은 인위적인 오염보다 토양에 존재하는 대장균군에 의한 자연적인 오염이 더 큰 것으로 나타났다. 따라서 식물, 토양 그리고 물 등에 유래하는 총대장균군의 균종분포가 높아 분변에 의한 오염보다는 자연적인 현상으로 수질이 실제보다 더 나쁘게 평가되는 것으로 판단된다.

Table 8. Classification of coliforms isolated from spring water in Mudeung mountain

Strain	Numbers of Isolates					Total
	늦재	너덜경	봉황대	중머리재	돌샘	
<i>E. coli</i>	13	8	4	29	16	70
<i>Klebsiella pneumoniae</i>			1		1	2
<i>Klebsiella oxytoca</i>	1			5	1	7
<i>Enterobacter amnigenus</i>		2	7		2	11
<i>Enterobacter aerogenes</i>			1	1		2
<i>Enterobacter cloacae</i>		3	2	1		6
<i>Citrobacter freundii</i>	33	10	1	1	12	57
<i>Serratia marcescens</i>		3		5		8
<i>Acinetobacter baumannii complex</i>	1			1	1	3
<i>Providencia alcalifaciens</i>				1	1	2
<i>Pantoea spp</i>				3	1	4
<i>Providencia rettgeri</i>					2	2
<i>Raoultella planticola</i>	1	1	2	11	4	19
<i>Raoultella ornithinolytica</i>	1	1		1	3	6
<i>Aeromonas salmonicida</i>				1		1
<i>Kluyvera cryocrescens</i>		1	11			12
total	50	29	29	60	44	212

돌샘 약수는 총대장균군이 11균종 44주가 분리 동정되었다. 그 중 분변오염에 의한 *E. coli*가 16주, *Klebsiella* 속균이 2주로 검출되어졌고, 자연계에 존재하는 *Enterobacter* 속균 1주 그리고 *Citrobacter* 속균이 12주로 나타나 총대장균군의 오염원이 인위적인 오염원과 자연적인 오염원의 복합적으로 이루어진 것으로 판단된다.

중머리재는 12균종의 총대장균군이 검출되었다. 이 중 분변에 의해 나타나는 균인 *E. coli*가 29주로 가장 많이 나타났고, *K. oxytoca*도 5주가 동정되었다. *Enterobacter* 속균, *Citrobacter* 속균은 3주로 나타났다. 중머리재는 다른 지점에 비해 *E. coli*의 분리·동정률이 높아 분변의 오염이 큰 것으로 판단된다. 너덜경은 분변오염에 의해 나타나는 *E. coli* 8주 그리고 자연계에 존재하는 *C. freundii* 10주 그리고 *Enterobacter* 속균이 5주가 나타났다. 봉황대는 *Enterobacter* 속균이 10주, *Kluyvera spp.*가 11주로 나타났지만 *E. coli*는 4주로 나타나 자연속에 존재하는 대장균군이 많이 나타났다. 따라서 무등산 약수중에서 발견되는 총대장균군은 식물, 토양 등 자연환경에서 유래된 균과 분변 등 인위적인 요인에 의해 나타나는 균이 복합적으로 동시에 존재하는 것을 알 수 있다.

4. 결 론

무등산 공원내 대표적인 약수터 6지점을 대상으로 2010년 4, 5, 7, 8월에 강우기간 동안 약수의 수질 변화, 살균시설의 소독효율 및 발견되는 균종(species)을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

pH, KMnO₄ 소비량 등 이화학적 항목의 수질의 변화는 강우기간 또는 집중강우에도 크지 않았으며, 모두 먹는물 수질기준 이내였다. 다만 탁도의 경우 50 mm 이상 집중 강우시 2지점에서 수질기준을 초과하였다. 칼슘, 마그네슘 등 미네랄 함량의 변화 역시 크지 않았으며, 농도 또한 낮았다. 납, 수은 등 건강상 유해영향 무기물질과 암모니아성 질소, 불소는 모든 지점에서 검출한계 이하이거나 불검출이었다.

광촉매 살균시설 통과 후 늦재 약수를 제외한 조사 대상의 모든 약수에서 월별, 계절별에 상관없이 총대장균군, 분원성대장균군이 검출되어 높은 부적률을 보였다. 즉 흐린 날씨의 지속 또는 강우기간 동안에는 살균시설의 효율이 상당히 저하된 것으로 나타났다.

균종분포는 총 16균종이 동정·확인되었으며, *Escherichia* 속균이 70주(32.7%)로 가장 많았으며, *Citrobacter* 균이 59주(27.6%)로 나타났다. 중머리재 약수의 경우 *E. coli*, *Klebsiella oxytoca* 등이 분리되어 분변에 의한 균종의 분포가 우세하며, 늦재 약수의 경우 분변에 의

한 오염보다는 식물, 토양 그리고 물 등 자연계에서 유래하는 총대장균군의 균종분포가 높았다.

참고문헌

1. 김현실, 김익성, 윤철중, 박청길, 부산지역 일부 약수터의 수질특성에 관한 연구, *대한환경공학회지*, **2002**, 24(5). 939-953.
2. 송희봉, 김남연, 정동숙, 이영주, 전현숙, 김용혜, 장우석, 김장익, 대구 달비약수터의 수질과 영향인자, *2003, 대한환경공학회지*, 25(12). 1570-1577.
3. 양수인, 배주순, 임항선, 오은하, 박보영, 허남철, 전남 지역 먹는물공동시설 수질특성과 관리방안, *한국물환경학회 · 대한상수도학회*, **2006**, 2006공동 춘계학술발표회 논문집, 93-100.
4. 박현구, 오조교, 변주형, 박경수, 김재광, 임운정, 경기 북부지역 약수터의 물 맛 평가에 관한 조사연구, **2007, 대한상수도학회 · 한국물환경학회, 2007공동 추계학술발표회 논문집, 497-501.**
5. 함희진, 안미진, 김정현, 최근 5년간 서울시내 약수터에서 분리한 여시니아속균의 균종별 분포 및 생화학적 특성 조사, **1998, 한국환경위생학회지, 13(4), 412-418.**
6. 환경부 보도자료, **2009**.
7. 박천영, 신인현, 안건상, 이창신, 정연중, 최낙철, 광주광역시 지하수에 대한 환경오염실태와 지구화학적 특성 연구, **1999, 한국지구과학회지, 20(3), 266-276.**
8. 먹는물공정시험기준, **2009**, 환경부.
9. http://www.kma.go.kr/weather/observation/past_table.jsp?stn=156&yy=2010&obs=21&x=25&y=4, 관측자료, 과거자료
10. 김성석, 이진호, 정재연, 김남성, 김순래, 김종철, 최규열, 정의호, 강원도에서 음용되는 지하수의 수질특성에 관한 조사 연구, **1995, J. KSWO Sep**, 247-256.
11. 김난희, 이대행, 송형명, 이윤국, 서희정, 백계진, 강영주, 광주지역 약수의 수질특성 연구, **2007, 광주광역시보건환경연구원보**.
12. 김동수, 서광엽, 최환주, 김연희, 민경우, 이창주, 광주 지역 산성우 특성에 관한 연구, **2001, 시정연구모임연구보고서**.
13. 안상수, 강영주, 위환, 김종민, 이윤국, 박옥현, 박종태, 백계진, 광주지역 음용 지하수 중 미네랄성분의 분포, **2009, 한국환경분석학회지**, 12(3), 185-191.
14. 김종근, 이재영, 대구지역에 분포하는 약수의 지구화학적 특성, **1997, 한국환경위생학회지**, 23(3), 56-64.
15. 양해근, 무등산 자연샘의 지화학적 특성, **2004, 한국지형학회지**, 11(1), 29-40.
16. 이남래, 김영만, 최범석, 먹는샘물 중의 건강과 영향을 미치는 화학성분의 분석, **1997, Analytical science & Technology**, 10(6), 459-467.
17. 이성호, 송희봉, 조찬래, 이영주, 이선영, 전현숙, 정동숙, 장우석, 화학적·미생물학적 수질에 대한 강우영향의 특성(대구지역 약수), **2002, 대한환경공학회지**, 24(12), 2213-2225.
18. 박석기, 엄석원, *위생미생물 시험법 해설*, **1998**, 60-70, 미래문화.
19. 정현미, *먹는물의 수질강화를 위한 대장균과 총대장균 기준 및 분석방법 연구*, **2001**, 국립환경연구원.