

## Microbiological Pollution Investigation of Lowland Spring Water at the Jeju City Waterfront, Jeju Island

Man-Chul Kim<sup>1</sup>, Yong-Jae Han<sup>1</sup> and Moon-Soo Heo<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Korea Fisheries Resources Agency, Jeju Project Station, Jeju 690-756, Korea

<sup>2</sup>Department of Aquatic Biomedical Sciences, Jeju National University, Jeju 690-756, Korea

Received October 14, 2011 / Revised November 3, 2011 / Accepted November 8, 2011

Bacteriological examination of spring water in Jeju City was conducted. A total of 21 spring water samples were collected from January to April, 2010. During the study period, the range of temperature was 0.6 to 15.4°C, and the results of the analyses showed that hydrogen ion concentrations (pH) for spring water were 0.43 to 7.9. Salinity levels for the samples averaged from 3.0 to 1.64‰, and levels of water-dissolved oxygen were 1.85 to 6.06 mg/l. The range of total coliforms in spring water samples at 21 stations located in the designated spring water were <1.8->1,600 MPN/100 ml. Furthermore, the range of geometric means of total coliforms was 9.9-151.6 MPN/100 ml, while the range of fecal coliforms in spring water samples at 21 stations located in the designated spring water area was <1.8->1,600 MPN/100 ml. Finally, the range of geometric mean of fecal coliforms was 3.1-151.6 MPN/100 ml. The level of microbial contamination was examined in 21 samples for indications of bacterial contamination such as heterotrophic bacteria, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Vibrio parahaemolyticus*, *Staphylococcus aureus*, and *Shigella* spp. were frequently detected in the spring water. *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Vibrio parahaemolyticus*, and *S. aureus* were detected in the range of  $0-0.5 \times 10^1$ ,  $0-0.1 \times 10^1$ ,  $0-0.1 \times 10^1$ , and  $0-0.3 \times 10^1$  CFU/ml, respectively, while *E. coli* O157:H7 was not detected in the examined spring water samples.

**Key words** : Spring water, microbiological pollution, fecal coliform, total coliform

### 서 론

용천수는 지하에서 흐르던 지하수가 바위나 지층의 틈을 타고 지상위로 솟아오르는 물을 일컫는 말이다. 섬 자체가 한라산으로 이루어져 있는 제주도는 사면의 해안과 중산간 및 높은 지대의 곳곳에서 용천수가 흘러나온다. 지표면에 내린 강수는 투수성이 큰 지층을 통하여 지하로 침투한 후 지하수를 형성하며, 수리지질적 특성에 의해 지하수 일부가 지표로 용출되어 용천수를 형성하고 있는 것으로 알려져 있다[8,15]. 제주도에는 약 900개 이상의 용천수가 분포하고 있는데 대부분의 용천수가 저지대 해안가에 밀집되어 분포하고 있다[10]. 이러한 용천수는 상수도가 보급되지 않았던 1980년대까지 식수원 및 농업용수로 이용되어왔다. 이 중에서도 수적으로 가장 많은 것은 해발 200 m 이하에 분포하는 해안지역 용천수이며, 이것이 오늘날 제주도의 마을이 해안 지역을 따라 환상의 형태로 만들어낸 원동력이 되었다[1]. 중산간 지역이나 산간 지역의 경우는 해안 지역에서 멀어질수록 용천수의 분포 비율은 낮아지며, 그에 따라 마을이나 거기에 거주하는 인구도 상대적으로 적다. 오늘날에는 바다로 흘러나가기 전의 일부 지

하수를 이용하여 상수원으로 공급하고 있으며, 먹는 샘물과 기능성 음료수로 생산하여 판매하고 있다. 제주도의 용천수는 기본적으로 지하수에 근간을 이루고 있기 때문에, 결국 제주도의 용천수는 과거로부터 오늘날에 이르기까지 제주도민들의 생활의 근거가 되고 있다[6].

인구의 증가와 생활수준의 발달로 인한 생활 쓰레기 및 원예작물들의 생산성을 증대하기 위한 화학 비료와 축산 폐기물 등의 오염원증가에 따른 수질오염 등으로 음용수로 쓰이는 지하수에 대한 중요성이 부각되고 있으며, 이러한 수질오염을 평가하는데 있어서 미생물지표를 이용하여 수질을 관리하고 평가하는 연구가 오래 전부터 시도되어왔고, 이미 세계 각국은 오염 정도를 파악할 수 있는 기준을 마련하고, 정확한 수질 관리를 위한 연구를 진행하고 있다. 호소수질환경기준에는 총대장균과 분원성 대장균군이 포함되어 있다[3,9]. 또한 미생물의 대한 기준을 수질관리에 적용하기 위한 연구가 우리나라에도 폭넓게 진행되고 있으며[4,11,13], 기준이 점차 강화되는 경향을 보이고 있다. 수질오염을 평가하기 위한 미생물학적인 지표로서 분원성 대장균(Fecal coliform), 총대장균군 (Total coliform), 대장균(*E. coli*) 등이 대표적이다. 이들은 사람과 환경 내에 많이 분포하고 환경의 변화에 안정하여 지표미생물로서의 기본 조건을 충족시키며 오염원에 대한 특이성을 가지고 있어 수질을 평가하는데 널리 이용되고 있다[5,14]. 본 연구에

#### \*Corresponding author

Tel : +82-64-754-3473, Fax : +82-64-756-3493

E-mail : msheo@jejunu.ac.kr

서는 제주도의 제주시 해안에서 용출되는 용천수에서 미생물학적인 수질오염의 평가와 비교를 통하여 차후 제주도 용천수의 보전 및 관리를 위한 기초자료로서 이용하고자 한다.

### 재료 및 방법

#### 시료채취 및 이화학적 분석

본 연구에서 현장조사 및 시료채취는 2010년 1월, 2월, 3월, 4월에 실시하였으며, 조사 정점은 제주도내 제주시 해안가에 위치한 용천수 지역을 조석간만의 차이에 따라 간조 시 해수와 혼합이 적고 채집이 용이한 21개 지점을 선정하였다(Fig. 1). 수온 및 염분, pH는 YSI 600QS를 이용하여 현장에서 측정하였으며, 용존산소(DO)는 현장에서 DO meter를 사용하여 측정하는 방법과 산소병에 고정하여 실험실로 옮긴 후 Winkler-Azide 방법을 병행하여 측정하였다[12].

#### 총대장균군(Total coliform) 측정

본 연구에 사용한 대장균 검사는 미국 APHA의 Recommended Procedures for the Examination of Seawater and Shellfish [2]의 방법인 MPN법(Most Probable Number Method)에 따라 추정시험은 용천수 시료 10 ml와 PBS 10 ml를 1:1비율, 시료 1 ml에 PBS 9 ml의 양으로 혼합한 후, 시료가 잘 섞이게 한 후, 15 ml 시험관에 분주된 LST (lauayl tryptose broth, BD, USA)배지를 사용하여 배지 10 ml에 희석된 시료를 접종 후 35±0.5℃에서 24±2 시간 배양 하고 24시간 단위로 가스 생성을 관찰, 가스가 생성되지 않으면 24시간 추가배양하고 가스가 생성된 것은 추정시험 양성으로 기록하고 확정시험을 실시하였다. 확정시험은 BGLB (brilliant green lactose bile broth, BD, USA)에 접종하여 35.0±0.5℃의 배양기에서 48시간 동안 배양하며 24시간마다 관찰 및 발효관에 가스가 관찰시에는 확정 판단하였다. 대장균군은 MPN/100 ml의 단위로 측정하고 기하평균(GEOMEAN) 값으로 산출하였다[2,7].

#### 분변계대장균(Fecal coliform) 측정

추정시험에서 가스가 생성된 것을 EC (EC broth, BD,

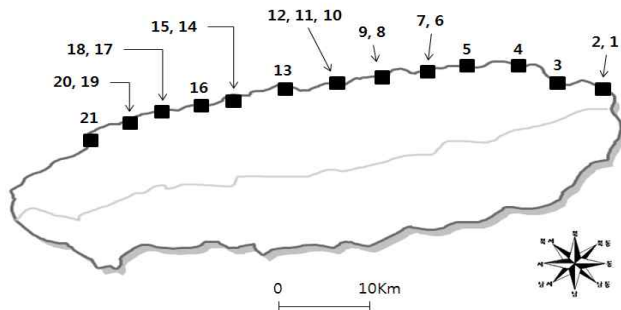


Fig. 1. Location of the sample site (black square) in Jeju-city, Korea.

USA) 배지에 접종한 후 44.5±0.2℃ water bath에서 24±2시간 배양하여 발효관에 가스가 관찰 시에는 확정 판단하였다. 분변계 대장균군은 BGLB 및 EC broth에서 모든 시험관이 가스양성을 나타내는 희석에서부터 3단계를 선택하여 MPN/100 ml의 단위로 측정하고 기하평균(GEOMEAN) 값으로 산출하였다[2,7].

#### 일반세균 측정

채취한 용천수 시료 1 ml를 9 ml의 멸균된 0.85% 생리식염수에 단계별로 희석하여, PCA (Plate counter agar, BD, USA) 배지 양 15 ml를 무균적으로 분주 하였다. 분주 시 페트리 접시 뚜껑에 희석된 시료가 부착하지 않도록 주의 하며 회전하여 냉각 응고한 후 다시 중충하여 시료가 분주된 페트리 접시를 거꾸로 하여 25℃배양기에서 24시간 배양한 후 생성된 일반세균을 측정 하였다[2].

#### Staphylococcus aureus 측정

시료 1 ml를 취하여 10% NaCl이 첨가된 Tryptic soy broth (BD, USA) 배지에 접종 후 37℃에서 24시간 배양 후 증균된 균액을 Mannitol salt agar (BD, USA) 배지에 도말하여 37℃에서 24시간 배양한 후 mannitol 분해능이 있는 혼탁한 백색환 집락과 주변에 난황반응 양성이 있는 집락에 대해 확정 시험으로 Gram staining을 실시하고 포도상의 배열을 갖는 그람 양성구균을 확인 뒤, *Streptococcus* spp.와 구별을 위해 catalase test, DNase test로 양성임을 확인하였다[7].

#### Escherichia coli O157:H7 측정

단계적으로 희석 되어진 용천수 시료를 EC broth (BD, USA)에 접종하여 37℃의 Water bath (JEIO TECH, Korea)에서 24시간의 증균 과정을 거친 후 *E. coli* O157:H7의 선택배지인 MacConkey sorbitol agar (BD, USA)에 접종하여 도말한 후 37℃에서 24시간 배양한 후, Sorbitol을 분해하지 못하는 white colony를 선별하여 실험에 사용하였으며, 확정 시험은 Eosin methylene blue agar (EMB agar, BD, USA)를 사용하여 확인하였다. EMB agar에서 의심되는 균주는 Gram staining, Triple sugar iron agar (TSI agar, BD, USA) test, Indole, Methyl red, Voges proskayer, Citrate utilization (IMViC) test, Lysine decarboxylase, Motility test를 실시하여 동정하였다. 최종 분리된 균은 API 20E kit (BioMerieux, France)를 사용하여 확정 시험을 측정 실시하였다[7].

#### Salmonella spp. 측정

시료 1 ml를 취하여 9 ml의 peptone water에 접종한 후 35℃에서 18±2시간 증균 배양하였다. 배양액 0.1 ml를 취하여 10 ml의 Rappaport-Vassiliadis배지에 접종하여 42℃에서

24±2시간 배양하였다. 증균 배양액을 Xylose lysine deoxycholate (XLD agar, BD, USA)에 접종하여 35℃에서 24시간 배양한 후 의심되는 집락은 확인 시험을 실시하였다. TSI 사면 배지의 사면과 고층부에 접종하고 35℃에서 18~24시간 배양하여 생물학적 성상을 검사 하였으며, 살모넬라는 유당, 서당 비분해(사면부 적색), 가스생성(균열 확인) 양성인 균에 대하여 그람음성 간균임을 확인하고 urease 음성, Lysine decarboxylase 양성의 특성을 확인 하였다

*Vibrio parahaemolyticus* 측정

용천수 시료를 증균용 액체배지인 Alkaline peptone water 에 37℃에서 24시간 증균 배양하고 선택배지인 TCBS (BD, USA)배지에 도말하여 청녹색 단일 집락을 확인한 후 확인시험은 선택배지 상에서 의심되는 집락을 선택하여 Triple sugar iron agar (BD, USA)에서 확인한 후 API 20NE kit을 이용하여 동정하였다[7].

*Shigella* spp. 측정

용천수 시료를 MacConkey agar (BD, USA)에 도말 후 24시간 동안 배양 후 관찰하여 무색 투명하게 자란 유당 비분해 집락을 선택하여, 감별 배지인 Triple sugar iron agar 에서 확인한 후 API 20E kit에 접종하여 37℃에서 18~24 시간 배양하여 당과 효소, 기질에 대한 생화학적 성상을 검토 후 동정하였다.

결과 및 고찰

용천수의 정점별 이화학적 특성

2010년 1월부터 4월까지 제주시의 해안가에 위치한 총 21곳의 용천수 일반수질의 이화학적 특성을 조사한 결과를 정점별로 평균값을 Table 1에 나타내었다. 용천수의 모든 정점별 평균 수온 값은 15.4±0.63℃를 나타냈으며, 3번 정점에서 16.6±0.22℃로 가장 높았지만, 다른 정점과 큰 차이는 나타나지 않았다. 염분농도의 평균값은 1.6±3.01‰를 나타냈으며, 7번 정점에서 8.5±7.41‰로 가장 높은 수치를 보였고, 나머지 정점에서는 비교적 담수와 같은 낮은 수치를 보였다. 이는 용천수가 해안가에 위치해 있어서 만조시 연안 해역과 혼합이 되어 염분이 올라간 것이라 사료된다. 용천수의 pH 조사결과 7.86±0.43로 전반적으로 pH 7~8 범위안의 조사결과를 얻었으며 표준편차 또한 1.0이하의 값을 나타내었다. 용존산소량(DO; Dissolved Oxygen)은 화학적 산소 요구량과 같이 수질의 유기물 오탁지표로 사용되는 지표로서, 표면수와 대기와의 접촉에 의한 산소의 진입과 식물의 광합성작용을 통한 산소의 방출에 의해 용존산소량(DO)이 포화상태가 되며, 광합성작용이 최대일 때 해수 중의 산소가 과포화상태가 된다. 조사결과 6.06±1.86 mg/l로 대부분의 지점에서 평균 6~7 mg/l의 용존산소량을 보였다. 하지만 5번과 13번 정점에서 3 mg/l의 낮은 용존산소량을 보였다. 이는 수생식물의 증식에 의한 유기물량의 증가와 측정기계의 일시적인 오류 등의 종합적인 요인이

Table 1. Spring water quality in Jeju -city by sampling station

| St.   | Temp (°C) |           | Salinity (‰) |          | pH        |           | DO (mg/l)  |           |
|-------|-----------|-----------|--------------|----------|-----------|-----------|------------|-----------|
|       | Range     | Average   | Range        | Average  | Range     | Average   | Range      | Average   |
| 1     | 14.9~16.1 | 15.5±0.45 | 1.4~5.2      | 2.5±1.55 | 6.07~8.04 | 7.50±0.83 | 6.52~8.70  | 7.51±0.78 |
| 2     | 14.8~16.1 | 15.4±0.46 | 1.8~8.9      | 4.1±2.86 | 6.49~8.43 | 7.74±0.74 | 6.40~8.19  | 7.01±0.72 |
| 3     | 16.4~17.0 | 16.6±0.22 | 0.8~2.3      | 1.3±0.60 | 7.01~8.80 | 7.93±0.64 | 2.80~5.74  | 4.68±1.15 |
| 4     | 14.5~15.3 | 14.9±0.30 | 0.3          | 0.3±0.02 | 8.07~8.29 | 8.16±0.09 | 4.34~7.56  | 5.88±1.14 |
| 5     | 15.6~16.5 | 16.1±0.33 | 0.6~2.5      | 1.2±0.74 | 7.19~7.96 | 7.57±0.29 | 3.40~4.10  | 3.86±0.28 |
| 6     | 13.6~15.8 | 15.1±0.89 | 0.2~10.8     | 2.9±4.54 | 7.67~7.93 | 7.82±0.10 | 4.90~8.38  | 6.39±1.27 |
| 7     | 14.5~15.6 | 15.1±0.44 | 1.1~19.7     | 8.5±7.41 | 7.60~8.33 | 7.85±0.29 | 2.96~6.81  | 5.36±1.48 |
| 8     | 15.2~15.5 | 15.3±0.11 | 0.9~5.1      | 2.3±1.66 | 7.91~8.30 | 8.08±0.14 | 3.40~7.30  | 5.35±1.38 |
| 9     | 14.8~15.4 | 15.2±0.22 | 0.8~1.3      | 1.0±0.21 | 7.90~8.74 | 8.19±0.34 | 3.70~6.60  | 5.24±1.03 |
| 10    | 14.6~14.8 | 14.7±0.09 | 0.5~1.0      | 0.7±0.21 | 7.63~7.90 | 7.80±0.10 | 7.06~9.45  | 8.12±0.86 |
| 11    | 14.6~14.9 | 14.7±0.11 | 0.5~0.9      | 0.6±0.14 | 7.60~7.92 | 7.80±0.13 | 2.98~7.95  | 6.13±1.94 |
| 12    | 14.6~15.5 | 15.0±0.35 | 0.1~0.5      | 0.3±0.15 | 7.42~7.89 | 7.74±0.19 | 2.75~7.75  | 6.03±2.01 |
| 13    | 15.1~16.4 | 15.6±0.47 | 0.1~0.3      | 0.1±0.08 | 7.20~7.72 | 7.58±0.22 | 2.45~4.51  | 3.80±0.83 |
| 14    | 15.5~16.0 | 15.8±0.20 | 0.2~1.1      | 0.5±0.36 | 7.33~7.61 | 7.45±0.11 | 2.50~6.11  | 4.41±1.28 |
| 15    | 14.9~15.5 | 15.2±0.20 | 0.1~1.3      | 0.5±0.45 | 7.52~8.35 | 7.82±0.31 | 2.23~6.30  | 4.71±1.54 |
| 16    | 15.0~17.0 | 15.7±0.79 | 0.1~0.2      | 0.1±0.03 | 7.42~7.99 | 7.69±0.21 | 1.75~7.69  | 5.18±2.17 |
| 17    | 15.0~16.4 | 15.9±0.57 | 0.3~10.5     | 2.8±4.43 | 7.12~8.39 | 7.72±0.47 | 6.30~11.30 | 8.80±1.77 |
| 18    | 14.4~15.5 | 14.8±0.44 | 0.6~4.7      | 1.7±1.70 | 7.67~8.32 | 8.09±0.26 | 7.45~7.65  | 7.55±0.07 |
| 19    | 14.9~15.9 | 15.3±0.37 | 0~1.9        | 0.7±0.74 | 7.54~8.67 | 8.28±0.44 | 7.40~7.94  | 7.67±0.19 |
| 20    | 15.0~15.6 | 15.3±0.21 | 0.5~4.6      | 1.7±1.67 | 7.95~8.35 | 8.15±0.16 | 6.67~7.60  | 7.14±0.33 |
| 21    | 15.0~15.9 | 15.6±0.33 | 0.2~1.6      | 0.5±0.60 | 7.94~8.16 | 8.05±0.11 | 5.18~7.60  | 6.39±0.86 |
| total | 13.6~17.0 | 15.4±0.63 | 0~19.7       | 1.6±3.01 | 6.07~8.80 | 7.86±0.43 | 1.75~11.30 | 6.06±1.86 |

기인한 것으로 사료된다.

용천수의 Total coliform과 Fecal coliform

2010년 1월부터 4월까지 총4회에 걸쳐 채집된 용천수의 대장균군과 분변계대장균을 정점별로 검사한 결과를 Table 2에 나타내었다. 전체적으로 총대장균군 범위는 <1.8>1,600 MPN/100 ml로 조사되었으며, 분변계대장균 또한 <1.8>1,600 MPN/100 ml의 수치를 나타나는 것으로 조사되었다. 분변계대장균수의 범위를 정점별 평균값을 살펴보면 용천수 정점 1번, 2번, 10번, 11번을 제외한 모든 정점에서 기하평균치가 14 MPN/100 ml 이상의 평균값을 나타냈으며, 그 중 3번, 16번 정점에서 기하평균치값 100 MPN/100 ml 이상의 높은 값을 나타내었다. 이는 연안해역 해수가 용출되는 용천수로 유입되면서 추가적으로 세균학적 오염이 원인이라고 사료된다. 따라서 인근해역내 해수는 수산물 품질관리법의 지정해역 기준과 미국의 허가해역 수질기준에서 제시하고 있는 지정해역의 세균학적 기준인 분변계대장균 수의 기하평균치 14 MPN/100 ml 이하의 관리규정에 부합할 수 있는 요인이 될 수 있을 것으로 사료된다.

용천수의 병원성 세균 측정

음용수 및 식품 일반에 대한 미생물 규격(수질오염공정시험기준, 식품공전)에서 정하고 있는 식중독 균을 포함한 총 6종의 미생물(일반세균, *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *E. coli*

O157:H7, *Vibrio parahaemolyticus*, *Staphylococcus aureus*) 을 검사하였다. 총 21곳의 용천수를 대상으로 2010년 1월부터 4월 까지 월별 모니터링을 한 결과를 Table 3-6에 나타내었다. 1월 정점별 미생물학적 모니터링 결과 병원성 미생물로 보이는 집락이 발견되지 않았으나, 2월 용천수의 경우=19번 정점에서  $0.3 \times 10^1$  CFU/ml의 *Salmonella* spp.가 검출되었고, 정점 6, 7, 10, 16, 17, 18번에서 각각  $0.1 \times 10^1$ ,  $0.3 \times 10^1$ ,  $0.1 \times 10^1$ ,  $0.1 \times 10^1$ ,  $0.2 \times 10^1$ ,  $0.1 \times 10^1$  CFU/ml의 *Staphylococcus aureus*가 검출되었다. 3월 용천수에서 미생물학적 모니터링 결과 정점 17, 19, 20 번에서 각각  $0.3 \times 10^1$ ,  $0.2 \times 10^1$ ,  $0.2 \times 10^1$  CFU/ml의 *Salmonella* spp.가 검출되었으며, 정점 11, 12, 18, 19 번에서 각각  $0.1 \times 10^1$ ,  $0.1 \times 10^1$ ,  $0.2 \times 10^1$ ,  $0.1 \times 10^1$  CFU/ml의 *Staphylococcus aureus*가 검출되었다. 4월 용천수에서 미생물학적 모니터링 결과 정점 5, 12, 17, 21 번에서 각각  $0.1 \times 10^1$ ,  $0.1 \times 10^1$ ,  $0.5 \times 10^1$ ,  $0.1 \times 10^1$  CFU/ml의 *Salmonella* spp.가 검출되었고, 21번 정점에서  $0.1 \times 10^1$  CFU/ml의 *Shigella* spp.가 검출되었고, 17번 정점에서  $0.1 \times 10^1$  CFU/ml의 *Vibrio parahaemolyticus*가 검출되었으며, 정점 3, 6, 7, 11, 12 번에서 각각  $0.3 \times 10^1$ ,  $0.3 \times 10^1$ ,  $0.1 \times 10^1$ ,  $0.1 \times 10^1$ ,  $0.1 \times 10^1$  CFU/ml의 *Staphylococcus aureus*가 검출되었다. *Salmonella* spp., *Shigella* spp. 같은 경우 주위 환경에 교차 감염에 의해 전이가 되며, 주로 축산동물, 개, 쥐, 바퀴, 파리 등에 의해 오염이 이루어지며, *Vibrio parahaemolyticus* 같은 경우 해수에 존재하며 수온이 상승하면서 나타나게 되며 *Staphylococcus aureus* 는 먼지나 사람, 하수 등에서 오염이 이루어

Table 2. Bacteriological water quality in spring water by sampling station

| St. | Month | MPN/100 ml    |                 |                |                 |
|-----|-------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|
|     |       | Coliform      |                 | Fecal coliform |                 |
|     |       | Range         | GM <sup>1</sup> | Range          | GM <sup>1</sup> |
| 1   | 1~4   | 4.5~33.0      | 14.4            | <1.8~17.0      | 3.1             |
| 2   | 1~4   | 22.0~240.0    | 49.4            | <1.8~49.0      | 7.4             |
| 3   | 1~4   | 33.0~1600.0   | 361.1           | 7.8~1600.0     | 151.6           |
| 4   | 1~4   | <1.8~920.0    | 16.4            | <1.8~920.0     | 15.7            |
| 5   | 1~4   | 49.0~>1600.0  | 394.8           | 33.0~>1600.0   | 147             |
| 6   | 1~4   | 17.0~350.0    | 55.7            | 7.8~49.0       | 19.7            |
| 7   | 1~4   | 25.0~1600.0   | 155.4           | 17.0~920.0     | 71.4            |
| 8   | 1~4   | 49.0~350.0    | 140.6           | 23.0~49.0      | 31.2            |
| 9   | 1~4   | 7.8~240.0     | 66.2            | 4.5~130.0      | 34.4            |
| 10  | 1~4   | 6.8~14.0      | 9.9             | <1.8~7.8       | 3.2             |
| 11  | 1~4   | 4.5~49.0      | 15.8            | 2.0~22.0       | 5.5             |
| 12  | 1~4   | 4.5~1600.0    | 65.8            | 2.0~1600.0     | 18.2            |
| 13  | 1~4   | 49.0~>1600.0  | 248.1           | 23.0~240.0     | 99              |
| 14  | 1~4   | 2.0~49.0      | 16.9            | 2.0~33.0       | 10.4            |
| 15  | 1~4   | 7.8~540.0     | 35.6            | <1.8~540.0     | 21.2            |
| 16  | 1~4   | 49.0~>1600.0  | 248.1           | 22.0~>1600.0   | 144.2           |
| 17  | 1~4   | <1.8~>1600.0  | 75.5            | 2.0~350.0      | 33.9            |
| 18  | 1~4   | 27.0~540.0    | 170.2           | 2.0~540.0      | 30.8            |
| 19  | 1~4   | 23.0~350.0    | 108.4           | 23.0~350.0     | 98.6            |
| 20  | 1~4   | 240.0~>1600.0 | 671             | 33.0~79.0      | 54.7            |
| 21  | 1~4   | 23.0~>1600.0  | 202.7           | 23.0~240.0     | 96              |

Table 3. Cell number of heterotrophic and pathogenic bacteria isolated in the spring water in January 2010

| St.    | <i>Salmonella</i> | <i>Shigella</i> | <i>E.coli</i> | <i>Vibrio</i>           | <i>Staphylococcus</i> | Heterotrophic<br>bacteria |
|--------|-------------------|-----------------|---------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|
|        | SPP.              | SPP.            | O157:H7       | <i>parahaemolyticus</i> | <i>aureus</i>         |                           |
| CFU/ml |                   |                 |               |                         |                       |                           |
| 1      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 2.0×10 <sup>2</sup>       |
| 2      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 3.0×10 <sup>2</sup>       |
| 3      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 5.4×10 <sup>3</sup>       |
| 4      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 1.8×10 <sup>3</sup>       |
| 5      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 1.5×10 <sup>3</sup>       |
| 6      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 3.0×10 <sup>2</sup>       |
| 7      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 2.1×10 <sup>3</sup>       |
| 8      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 1.5×10 <sup>3</sup>       |
| 9      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 4.0×10 <sup>2</sup>       |
| 10     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 2.0×10 <sup>2</sup>       |
| 11     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 1.5×10 <sup>3</sup>       |
| 12     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 2.0×10 <sup>4</sup>       |
| 13     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 4.0×10 <sup>2</sup>       |
| 14     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 4.1×10 <sup>3</sup>       |
| 15     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 5.0×10 <sup>2</sup>       |
| 16     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 1.7×10 <sup>4</sup>       |
| 17     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 5.6×10 <sup>3</sup>       |
| 18     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 7.0×10 <sup>2</sup>       |
| 19     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 4.6×10 <sup>3</sup>       |
| 20     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 1.2×10 <sup>4</sup>       |
| 21     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 2.0×10 <sup>2</sup>       |

Table 4. Cell number of heterotrophic and pathogenic bacteria isolated in the spring water in February 2010

| St.    | <i>Salmonella</i>   | <i>Shigella</i> | <i>E.coli</i> | <i>Vibrio</i>           | <i>Staphylococcus</i> | Heterotrophic<br>bacteria |
|--------|---------------------|-----------------|---------------|-------------------------|-----------------------|---------------------------|
|        | SPP.                | SPP.            | O157:H7       | <i>parahaemolyticus</i> | <i>aureus</i>         |                           |
| CFU/ml |                     |                 |               |                         |                       |                           |
| 1      | ND                  | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 1.6×10 <sup>3</sup>       |
| 2      | ND                  | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 7.1×10 <sup>3</sup>       |
| 3      | ND                  | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 2.7×10 <sup>3</sup>       |
| 4      | ND                  | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 2.3×10 <sup>3</sup>       |
| 5      | ND                  | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 2.1×10 <sup>4</sup>       |
| 6      | ND                  | ND              | ND            | ND                      | 0.1×10 <sup>1</sup>   | 1.0×10 <sup>3</sup>       |
| 7      | ND                  | ND              | ND            | ND                      | 0.3×10 <sup>1</sup>   | 5.0×10 <sup>2</sup>       |
| 8      | ND                  | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 4.0×10 <sup>2</sup>       |
| 9      | ND                  | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 3.5×10 <sup>3</sup>       |
| 10     | ND                  | ND              | ND            | ND                      | 0.1×10 <sup>1</sup>   | 3.0×10 <sup>2</sup>       |
| 11     | ND                  | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 2.0×10 <sup>2</sup>       |
| 12     | ND                  | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 1.0×10 <sup>2</sup>       |
| 13     | ND                  | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 8.0×10 <sup>2</sup>       |
| 14     | ND                  | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 1.0×10 <sup>3</sup>       |
| 15     | ND                  | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 1.3×10 <sup>3</sup>       |
| 16     | ND                  | ND              | ND            | ND                      | 0.1×10 <sup>1</sup>   | 8.0×10 <sup>2</sup>       |
| 17     | ND                  | ND              | ND            | ND                      | 0.2×10 <sup>1</sup>   | 3.5×10 <sup>4</sup>       |
| 18     | ND                  | ND              | ND            | ND                      | 0.1×10 <sup>1</sup>   | 2.5×10 <sup>3</sup>       |
| 19     | 0.3×10 <sup>1</sup> | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 3.5×10 <sup>4</sup>       |
| 20     | ND                  | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 2.6×10 <sup>3</sup>       |
| 21     | ND                  | ND              | ND            | ND                      | ND                    | 6.2×10 <sup>3</sup>       |

Table 5. Cell number of heterotrophic and pathogenic bacteria isolated in the spring water in March 2010

| St.    | <i>Salmonella</i> | <i>Shigella</i> | <i>E.coli</i> | <i>Vibrio</i>           | <i>Staphylococcus</i> | Heterophic<br>bacteria |
|--------|-------------------|-----------------|---------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|
|        | SPP.              | SPP.            | O157:H7       | <i>parahaemolyticus</i> | <i>aureus</i>         |                        |
| CFU/ml |                   |                 |               |                         |                       |                        |
| 1      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $2.0 \times 10^2$      |
| 2      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $5.0 \times 10^2$      |
| 3      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $3.0 \times 10^2$      |
| 4      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $1.0 \times 10^2$      |
| 5      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $5.2 \times 10^3$      |
| 6      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $1.7 \times 10^3$      |
| 7      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $2.4 \times 10^3$      |
| 8      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $2.0 \times 10^2$      |
| 9      | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $1.0 \times 10^2$      |
| 10     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $1.0 \times 10^2$      |
| 11     | ND                | ND              | ND            | ND                      | $0.1 \times 10^1$     | $8.0 \times 10^2$      |
| 12     | ND                | ND              | ND            | ND                      | $0.1 \times 10^1$     | $9.0 \times 10^2$      |
| 13     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $4.0 \times 10^2$      |
| 14     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $1.0 \times 10^2$      |
| 15     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $1.0 \times 10^2$      |
| 16     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $2.9 \times 10^3$      |
| 17     | $0.3 \times 10^1$ | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $1.0 \times 10^4$      |
| 18     | ND                | ND              | ND            | ND                      | $0.2 \times 10^1$     | $2.0 \times 10^3$      |
| 19     | $0.2 \times 10^1$ | ND              | ND            | ND                      | $0.1 \times 10^1$     | $2.0 \times 10^3$      |
| 20     | $0.2 \times 10^1$ | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $1.4 \times 10^3$      |
| 21     | ND                | ND              | ND            | ND                      | ND                    | $6.0 \times 10^2$      |

Table 6. Cell number of heterotrophic and pathogenic bacteria isolated in the spring water in April 2010

| St.    | <i>Salmonella</i> | <i>Shigella</i>   | <i>E.coli</i> | <i>Vibrio</i>           | <i>Staphylococcus</i> | Heterophic<br>bacteria |
|--------|-------------------|-------------------|---------------|-------------------------|-----------------------|------------------------|
|        | SPP.              | SPP.              | O157:H7       | <i>parahaemolyticus</i> | <i>aureus</i>         |                        |
| CFU/ml |                   |                   |               |                         |                       |                        |
| 1      | ND                | ND                | ND            | ND                      | ND                    | $3.4 \times 10^4$      |
| 2      | ND                | ND                | ND            | ND                      | ND                    | $6.6 \times 10^3$      |
| 3      | ND                | ND                | ND            | ND                      | $0.3 \times 10^1$     | $1.5 \times 10^4$      |
| 4      | ND                | ND                | ND            | ND                      | ND                    | $6.0 \times 10^2$      |
| 5      | $0.1 \times 10^1$ | ND                | ND            | ND                      | ND                    | $2.4 \times 10^4$      |
| 6      | ND                | ND                | ND            | ND                      | $0.3 \times 10^1$     | $1.0 \times 10^3$      |
| 7      | ND                | ND                | ND            | ND                      | $0.1 \times 10^1$     | $6.2 \times 10^3$      |
| 8      | ND                | ND                | ND            | ND                      | ND                    | $1.0 \times 10^2$      |
| 9      | ND                | ND                | ND            | ND                      | ND                    | $1.5 \times 10^3$      |
| 10     | ND                | ND                | ND            | ND                      | ND                    | $3.8 \times 10^3$      |
| 11     | ND                | ND                | ND            | ND                      | $0.1 \times 10^1$     | $3.0 \times 10^2$      |
| 12     | $0.1 \times 10^1$ | ND                | ND            | ND                      | $0.1 \times 10^1$     | $3.0 \times 10^2$      |
| 13     | ND                | ND                | ND            | ND                      | ND                    | $1.3 \times 10^3$      |
| 14     | ND                | ND                | ND            | ND                      | ND                    | $2.9 \times 10^3$      |
| 15     | ND                | ND                | ND            | ND                      | ND                    | $2.1 \times 10^4$      |
| 16     | ND                | ND                | ND            | ND                      | ND                    | $2.3 \times 10^3$      |
| 17     | $0.5 \times 10^1$ | ND                | ND            | $0.1 \times 10^1$       | ND                    | $1.0 \times 10^5$      |
| 18     | ND                | ND                | ND            | ND                      | ND                    | $1.2 \times 10^3$      |
| 19     | ND                | ND                | ND            | ND                      | ND                    | $1.5 \times 10^3$      |
| 20     | ND                | ND                | ND            | ND                      | ND                    | $3.9 \times 10^3$      |
| 21     | $0.1 \times 10^1$ | $0.1 \times 10^1$ | ND            | ND                      | ND                    | $9.6 \times 10^3$      |

어진다. 본 연구 결과로 보아 지역경제 특성상 농업과 어업 그리고 관광업에 치중하고 있는 지역으로서 이 이외에는 비점원적 오염을 유발할 수 있는 산업이 매우 적다. 따라서 농수산업 경제활동에 의해 비점원적 오염원이 될 수 있는 주된 부분은 경작활동과 마을 공동목장의 운영을 들 수 있으며, 이러한 병원성 미생물들은 수온의 상승과, 장마 등에 의한 외부 환경에 의해 더욱 나타날 것으로 사료된다. 앞으로 이와 관련하여 장기적인 모니터링을 통한 용천수에 존재하는 유해한 병원성 미생물의 서식 파악 및 관리는 피서철 용천수를 이용하여 담수욕장 및 물맞이 장소로써의 이용과 수질이 양호한 용천수를 이용한 명수로써의 관광자원 개발활용에 매우 중요할 것으로 사료된다.

### 감사의 글

본 연구는 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 광역경제권 선도산업 인재양성사업의 연구 결과입니다.

### References

1. An, J. G., C. Y. Jung, H. J. Park, and T. H. Kim. 2007. Aquifers and seepage patterns of springwater in Seogwipo, Jeju Island. *J. Kor. Geomor. Assn* **14**, 27-35.
2. APHA. 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 19th ed. APHA-AWWA-WPCF. New York.
3. Choi, S. H. 1990. Hydrogeological and hydrochemical characteristics of groundwater in Cheju island. Ph. D. Thesis, pp. 89, Kyungpook National University.
4. Chung, H. M., S. J. Park, W. H. Jheong, O. S. Kwon, J. S. Park, and D. H. Oh. 2001. The applicability of coliforms as a fresh water quality standard. *Report of NIER, Korea* **23**, 315-328.
5. Geldreich, E. E., B. A. Kenner, and P. W. Kabler. 1964. Occurrence of coliforms, fecal coliforms, and fecal streptococci on vegetation and insects. *Appl. Environ. Microbiol.* **12**, 63-69.
6. Hahn, J., Y. Lee, N. Kim, C. Hahn, and S. Lee. 1997. The groundwater resources and sustainable yield of Cheju volcanic island, Kor. *Environ. Geo.* **33**, 43-53.
7. Kim, H. Y., J. Y. Park, D. H. Chung, and S. S. Oh. 2004. Microbiological evaluation for HACCP implementation of wholesale bakery products. *J. Food Hyg. Saf.* **19**, 185-192.
8. Kim, J. H. and J. S. Ahn. 1992. Water chemistry and age dating of springwater in Cheju Island. *J. Kor. Chem Soc.* **36**, 727-737.
9. Lee, K. S., D. B. Wenner, and I. Lee. 1999. Using H-and O-isotopic data for estimating the relative contributions of rainy and dry season precipitation to groundwater: example from Cheju Island. *J. Kor. Hydrol.* **222**, 65-74.
10. Lee, K. S., W. B. Park, S. G. Hyun, Y. Kim, D. C. Moon, and K. Y. Kim. 2004. Hydrogeochemistry and isotope composition of springs in the southern and northern sides of Mt. Halla, Jeju Island. *J. Kor. Geolo. Soc.* **40**, 41-52.
11. Lee, M. A. and I. W. Sung. 2007. Comparative study on detecting methods for total coliform in sewage effluent. *J. Kor. Environ. Health Soc.* **33**, 422-427.
12. Lind, O. T. 1979. A handbook of Limnological methods. pp.199, C.V. Mosby, St. Louist .
13. Park, J. E., S. D. Kim, J. R. Cho, S. H. Kim, H. J. Lee, and Y. O. Lee. 2006. Comparative studies on detecting methods of fecal indicators (coliform) in surface water. *J. Kor. Soc. Wat. Waste Wat.* **22**, 1052-1059.
14. Williams, F. P., R. E. Stetler, and R. S. Safferman. 2001. US EPA Manual of methods for Virology. *Environmental Protection Agency*: **600**, 4-84.
15. Youn, J. S, and S. W. Park. 2000. Hydrogeochemical characteristics of spring water in Halla mountain region, Cheju island. *J. Kor. Earth Sci. Soc.* **21**, 81-92.

---

**초록 : 제주도 내 제주시 해안가 저지대용천수의 미생물학적 오염도 조사**김만철<sup>1</sup> · 한용재<sup>1</sup> · 허문수<sup>2\*</sup>( <sup>1</sup>수산자원사업단 제주사업소, <sup>2</sup>제주대학교 해양과학대학 수산생명의학과)

본 연구는 2010년 1월부터 4월까지 제주도 제주시 해안가에 위치한 21곳의 용천수를 대상으로 하여 미생물학적 오염도를 조사하였다. 용천수의 이화학적 분석 및 수질환경기준에 포함되는 병원성 미생물외에 식중독 유발 및 인체에 유해한 식품병원성 미생물 중 총대장균군수, 분원성대장균, *Staphylococcus aureus*, *Escherichia coli* O157:H7, *Salmonella* spp., *Shigella* spp., *Vibrio parahaemolyticus*를 조사하였다. 이화학적 검사 결과 용천수의 평균 수온 값은  $15.4 \pm 0.63^\circ\text{C}$ 를 나타냈으며, 염분농도의 평균값은  $1.6 \pm 3.01\%$ , pH 조사결과  $7.86 \pm 0.43$ 로 전반적으로 pH 7~8 범위안의 조사결과를 얻었으며, 용존산소량(DO)은 조사결과  $6.06 \pm 1.86$  mg/l로 대부분의 지점에서 평균 6~7 mg/ml의 용존산소량을 보였다. 용천수의 미생물학적 검사 결과 전체 정점별로 총대장균군 범위는  $<1.8->1,600$  MPN/100 ml로 조사되었으며, 분변계대장균의 경우  $<1.8->1,600$  MPN/100 ml를 나타냈다. 분변계대장균수의 범위를 정점별 평균값을 살펴보면 용천수 정점 1번, 2번, 10번, 11번을 제외한 모든 정점에서 기하평균치가 14 MPN/100 ml 이상의 평균값을 나타냈으며, 그중 3번, 16번 정점에서 기하평균치값 100 MPN/100 ml 이상의 높은 값을 나타내었으며, 조사한 21곳의 용천수에서 *E. coli* O157:H7은 검출되지 않았다.