

군산지역 초등학교 정수기 물의 미생물학적 수질

서란주 · 박석환 · 이건형*

군산대학교 자연대 생물학과

2007년 7월부터 12월까지 총 5회 전라북도 군산에 위치한 초등학교의 정수기 물을 대상으로 미생물학적 수질에 대하여 조사하였다. 조사기간 중 정수기 물의 총속영양세균의 분포는 $0\sim 1.2\pm 0.2\times 10^4$ CFU/ml의 범주에서 나타났는데, 이 중 최대값은 우리나라 먹는 물 수질기준을 120배 초과하는 값을 나타냈다. 월별 수질기준을 초과하는 정수기 물의 백분율은 7월과 9월에 90%, 10월과 11월에 87.2%, 12월에 93.7%로 조사되었다. 한편 총대장균군과 병원성 세균인 *Salmonella*와 *Shigella*는 정수기 물과 수도물에서 모두 검출되지 않았다. 총 5회의 실험 중 정수기 물에서 분리한 세균을 분자생물학적인 방법으로 동정한 결과, *Sphingomonas*, *Methylobacterium*, *Caulobacter*, *Novosphingobium*, *Bosea*, *Brevundimonas*, *Aminobacter*, *Ralstonia*, *Mitsuaria*, *Variovorax*, *Acidovorax*, *Massilia*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Brevibacillus*, *Microbacterium*, *Lapillicoccus*, *Micrococcus*, *Arthrobacter*, *Janibacter*, *Flavobacterium*, *Chryseobacterium*, *Hymenobacter* 등 26개 속이 동정되었다. 검출된 세균의 대부분은 일반 환경에서 다량 존재하는 세균들로서 병원성이 없으나, *Pseudomonas fluorescens*, *Staphylococcus epidermidis*, *Flavobacterium johnsoniae*, *Acinetobacter johnsonii* 등은 기회감염균으로 면역력이 낮은 초등학교 학생들의 경우 감염의 가능성이 있다.

Key words □ heterotrophic bacteria, population densities, tap water sample, total coliform, water purification systems

인체의 약 60~65% 정도를 차지하는 물은 체내에서 영양분과 노폐물을 운반하고 체온과 전해질 농도를 조절하는 등 생명유지에 있어 그 기능과 역할이 절대적이다(3). 최근 경제적 성장에 의한 생활수준의 향상은 국민들로 하여금 쾌적하고 건강한 삶을 추구하게 하였고, 인구의 증가와 산업발달에 따른 환경오염, 특히 수질오염의 증가는 깨끗하고 건강한 음용수에 대한 관심을 고조시켰다. 더욱이 1989년 이후 몇 차례에 걸친 수질오염의 발생으로 마시는 물에 대한 불신이 증가되어 수도물을 그냥 마시기보다는 먹는 샘물을 구입하여 마시거나 정수기의 사용이 보편화 되었고, 학교 현장에서도 많은 수의 학교가 정수기를 이용한 물을 주요 음용수로 공급하게 되었다(16). 그러나 정수기 사용의 증가와 함께 관리 소홀로 인한 세균 오염 문제가 대두되고, 미생물 오염 방지를 위한 소독에 따른 소독부산물 발생 등 정수기 사용에 대한 위생관리 문제점이 야기되고 있다(2).

우리나라 인구의 약 17%를 차지하는 초·중·고 학생들이 생활하는 공간인 학교는 그 한정된 공간에 밀집되어 장시간 동안 생활하게 되므로 여러 가지 유해한 위생학적, 보건학적 문제들이 발생할 수 있어 철저한 관리가 요구되는 곳이다(7). 특히 음용수는 건강한 삶을 영위하기 위한 기본적인 요건이므로 학생들에게 안전하고 깨끗한 음용수를 공급하기 위한 여건이 마련되어야 한다(16).

학교급수는 학교보건법 제4조에 명시된 학교 환경 위생 및 식

품 위생에 포함되는 것으로써 학교 시설, 설비 기준령 상의 기준을 준수하고 급수시설 주변 환경에 대한 사항과 물탱크 저장수를 사용하고 있는 학교에 대한 관리 및 위생 점검에 대한 기준을 규정하고 있으며, 학교에서 공급되는 음용수는 학교 보건법에 기준을 두어 별도로 학교보건관리기준을 정해 관리하고 있다. 전라북도 내 768개 학교 중 2007년 12월 현재, 685개교가 정수기 또는 냉온수기를 설치하여 먹는 물을 공급하고 있다(14). 학교 음용수는 면역성이 약한 성장기 학생들에게 제공되므로 음용수의 공급시설이 열악하거나 관리상태가 비위생적이면 수질이 저하되고 학생들에게 질병을 일으킬 수 있다(16). 따라서 본 연구에서는 정수기의 관리상태를 조사하기 위해 전라북도 군산지역의 초등학교에서 음용수로 사용되고 있는 정수기 물을 대상으로 총속영양세균과 총대장균군, 그리고 병원성 세균의 균체수를 계수하였고, 출현미생물을 동정하였다. 이러한 연구는 향후 정수기 물의 관리에 필요한 기초자료로 사용되길 기대한다.

재료 및 방법

연구대상 및 채수방법

본 연구는 전북 군산시의 초등학교 중 정수기 물을 음용수로 사용하는 학교 10개교를 임의 추출하여 본 연구를 수행하였다. 각 대상학교에 설치된 정수기 중 사용빈도가 높은 정수기를 2대씩 선정하여 총 20개의 정수기 물과 이들 정수기의 원수가 되는 수도물 10개를 2007년 7월부터 12월까지 총 5차례 채수하였다.

*To whom correspondence should be addressed.
Tel: 82-63-469-4584, Fax: 82-63-463-1560
E-mail: ghlee@kunsan.ac.kr

시료는 물을 약 1분간 흘러보낸 후 멸균된 500 ml 용기에 채수한 후 4°C로 냉장 보관한 상태로 실험실로 운반하여 곧바로 실험을 실시하였다.

미생물학적 수질 측정

중속영양세균의 측정

중속영양세균의 측정은 현장에서 멸균된 채수병에 넣어 4°C를 유지하여 운반한 시료를 R2A agar (Difco, USA)에 도말하여 21°C에서 5일간 배양하여 나타난 균체수를 계수하였다. R2A agar는 빈영양상태의 배지로 음용수의 중속영양세균 측정에 용이하므로(1) 본 연구에서는 중속영양세균을 측정하는 주배지로 삼아 실험을 실시하였다. 이때 미생물 측정 단위는 colony-forming units (CFUs)로 측정하였다.

총대장균군의 측정

총 대장균군(total coliform)의 측정은 PetriFilm™ Coliform Count Plate (3M, USA)를 동일 시료에 대해 3회 사용하여 평균을 사용하였고, 최확수법(MPN)을 병행 하였다. MPN법은 Lactose broth (Difco, USA)를 이용하였으며 추정시험과 확정시험, 그리고 완전시험을 거쳐 최종 확정하였다.

기타 병원성세균의 측정

병원성 장내세균인 *Salmonella*와 *Shigella*의 존재유무를 알아보기 위하여 Bismuth sulfite agar (Difco, USA)와 Xylose lysine desoxycholate agar (Difco, USA)에 시료를 도말하여 35°C에서 24시간 배양하였다.

세균의 분리 및 동정

염색체 DNA 분리

정수기 물에서 서식하는 세균을 선별하여 순수분리 한 후, R2A broth (Difco, USA)에서 18~24시간 동안 진탕 배양하여 집균한 균액 100 µl를 lysis buffer [5.25 M guanidinium thiocyanate, 50 mM Tris-HCl; pH 6.4, 20 mM EDTA, 1.3% (w/v) Triton X-100] 200 µl, lysozyme 1 µl (100 mg/ml)와 골고루 섞어 30°C에서 30분간 반응시킨 후(19)에 Proteinase K 1 µl (20 mg/ml)를 첨가한 후 56°C에서 30분간 반응시켰다. 반응 후, Multiscreen™ HTS Glass Filter (Millipore, USA)에 옮겨 vacuum manifold (Millipore, USA)를 이용하여 DNA를 glass filter에 결합시킨 후 70% ethanol 200 µl를 넣어 glass filter를 2회 세척하고 TE solution (10 mM Tris-HCl; pH 8.0, 0.1 mM EDTA) 50 µl를 넣어 DNA를 elution하여 다음 실험 시까지 -20°C에서 보관하였다.

16S rDNA의 증폭

세균의 16S rDNA를 증폭하기 위하여 universal primer인 27F와 1492R을 사용하여(18) PCR을 수행하였다. PCR 조건은 10×

PCR buffer (50 mM KCl, 0.01% gelatin, 10 mM Tris-HCl, pH 9.0) 5 µl, 250 mM MgCl₂ 4 µl, 10 mM dNTP 1 µl, 10 pmol primer 5 µl, 그리고 1 Unit의 *Taq* polymerase (TaKaRa, Japan)를 넣은 후, 여기에 20 ng의 template DNA를 첨가하고 ddH₂O로 최종 반응량을 50 µl로 맞추었다. PCR 증폭은 thermal cycler GenAmp PCR system 9700 (Applied Biosystems, USA)를 사용하여 수행하였다. PCR 증폭 과정은 predenaturation 과정으로 94°C에서 10분간 수행하였고, 94°C에서 30초간 denaturation, 55°C에서 30초간 primer annealing, 72°C에서 75초 extension을 총 30회 반복하고, 72°C에서 7분간 최종 반응시켰다. 증폭된 PCR 산물은 0.7% agarose gel (SeaKem®LE, TaKaRa)에서 전기영동 한 후 ethidium bromide (0.5 µg/ml) 용액에 5분간 염색한 후 UV 분광광도계 Gel Doc XR system (Bio-Rad, USA)을 이용하여 260 nm 파장에서 약 1.5 kb에 해당하는 DNA 밴드를 확인하였다(21).

16S rDNA 염기서열 분석 및 계통분류학적 분석

16S rDNA 염기서열을 분석하기 위해 증폭된 PCR 산물은 전기영동한 후, Gel Extraction kit (Bioneer, Korea)를 이용하여 정제하였다. 유전자 서열 분석은 miDNA 유전체 연구소(Korea) BigDye 3.1 (Applied Biosystems, USA)의 염기서열 결정방법으로 ABI PRISM 3130 XL Genetic Analyzer (Applied Biosystems, USA)을 이용하여 수행하였으며, 유전자 서열 분석을 위한 primer로는 27F, 1492R을 이용하여 양쪽 방향 모두 염기서열 해독을 실시하였다. 세균들의 16S rDNA의 부분 염기서열을 Blast network service를 이용하여 EMBL/GenBank database의 염기서열을 비교하여 속명을 확정하고(17), BioEdit (version 7.0.5.3)을 이용하여 Ribosomal Database Project (RDP) II database의 표준 균주의 염기서열과 비교함으로써 계통분류학적 유연관계를 분석하였다. 각각의 16S rDNA의 부분 염기서열의 배열은 BioEdit (version 7.0.5.3)를 사용하여 결정하였다. 계통수(phylogenetic tree)는 neighbor-joining method를 이용하는 프로그램인 MEGA 4 (version 4.0.1)를 사용하여 작성하였다(20). 본 연구에서 동정된 균주는 GenBank에 EU730903, EU730905~EU730912, EU730914~EU730933, EU730935~EU730947로 등록되었다.

결 과

미생물학적 수질 측정

월별 중속영양세균 측정치를 살펴보면, 7월에 실시된 1차 실험 결과는 Fig. 1A에서 보는 바와 같이, 먹는 물 수질기준인 100 CFU/ml 이하(10)를 충족하는 정수기는 A학교와 B학교에서 각각 한 개씩으로 1.8±0.6×10⁴ CFU/ml와 5.1±2.1×10⁴ CFU/ml로 나타났다. 수도물은 A, B, C, E, F, J학교가 100 CFU/ml 이하로 나타났다. H학교의 수도물이 1.9±0.3×10⁴ CFU/ml로 최고값을 보였으며, 같은 학교의 정수기는 1.3±0.01×10³ CFU/ml과 2.0±0.2×10³ CFU/ml로 수도물보다는 적으나 역시 높은 값을 나타냈다. I학교의 정수기가 1.2±0.2×10⁴ CFU/ml과 2.1±0.4×10³ CFU/ml로 정수

기 중에서는 가장 높은 값을 나타냈는데, 이들 정수기의 원수가 되는 수도물도 $7.5 \pm 2.0 \times 10^3$ CFU/ml로 다른 학교에 비해 매우 높은 값을 보였다. A, B, C, E, F학교의 정수기 원수인 수도물에서는 중속영양세균이 검출되지 않았으나, 정수기를 통과한 후 중속영양세균이 검출되었다. 특히 C학교와 F학교의 정수기에서는 각각 $2.3 \pm 0.3 \times 10^3$ CFU/ml~ $7.2 \pm 1.4 \times 10^2$ CFU/ml 및 $2.2 \pm 0.1 \times 10^3$ CFU/ml~ $5.4 \pm 1.4 \times 10^2$ CFU/ml의 결과를 나타냈다. 반면 H학교의 정수기는 수도물에서 나타난 측정값인 $1.9 \pm 0.3 \times 10^4$ CFU/ml보다 줄어든 $1.3 \pm 0.01 \times 10^3$ CFU/ml~ $2.0 \pm 0.2 \times 10^3$ CFU/ml을 보였다.

9월에 실시된 2차 실험 결과는 Fig. 1B에서 보는 바와 같이 먹는 물 수질기준인 100 CFU/ml 이하를 충족하는 정수기 물은 A학교와 D학교에서 각각 한 개씩으로 0 CFU/ml과 $2.0 \pm 0.6 \times 10$ CFU/ml로 나타났다. 수도물의 경우, B, C, F, J학교가 100 CFU/ml 이하로 나타났다. 최대값을 나타낸 것은 J학교의 정수기 물로 $7.2 \pm 1.8 \times 10^3$ CFU/ml이었고, I학교의 정수기 물도 비슷한 값인

$7.0 \pm 3.0 \times 10^3$ CFU/ml이었다. I학교의 수도물 또한 $6.5 \pm 0.4 \times 10^3$ CFU/ml로 9월에 조사된 수도물 중 최고값을 나타냈다. B, C, F학교의 수도물에서는 중속영양세균이 검출되지 않았으나, 정수기를 통과한 후 많은 중속영양세균이 검출되었는데, 특히 B학교의 정수기 물에서는 $5.0 \pm 1.4 \times 10^3$ CFU/ml과 $4.4 \pm 1.4 \times 10^2$ CFU/ml의 측정값을 나타내 수질기준을 50배 이상 초과하였다. 반면, D학교의 정수기 물은 수도물의 측정값인 $3.3 \pm 0.6 \times 10^3$ CFU/ml보다 줄어든 $1.5 \pm 0.2 \times 10^3$ CFU/ml과 $2.0 \pm 0.6 \times 10$ CFU/ml을 나타냈다.

10월에 실시된 3차 실험에서는 C학교와 H학교 정수기가 관리상의 문제로 폐기되어 이후의 검사에서 제외되었다. Figure 1C에서 보는 바와 같이 먹는 물 수질기준을 충족하는 정수기 물은 A학교의 정수기 물 한 개와 D학교 정수기 물 두 개로 A-1은 $6.3 \pm 2.5 \times 10$ CFU/ml, D-1은 $2.0 \pm 0.6 \times 10$ CFU/ml, D-2는 0 CFU/ml로 나타났다. 수도물의 경우는 B, D, F학교가 100 CFU/ml 이하로 나타났다. 최대값을 나타낸 측정값은 I학교의 수도물로

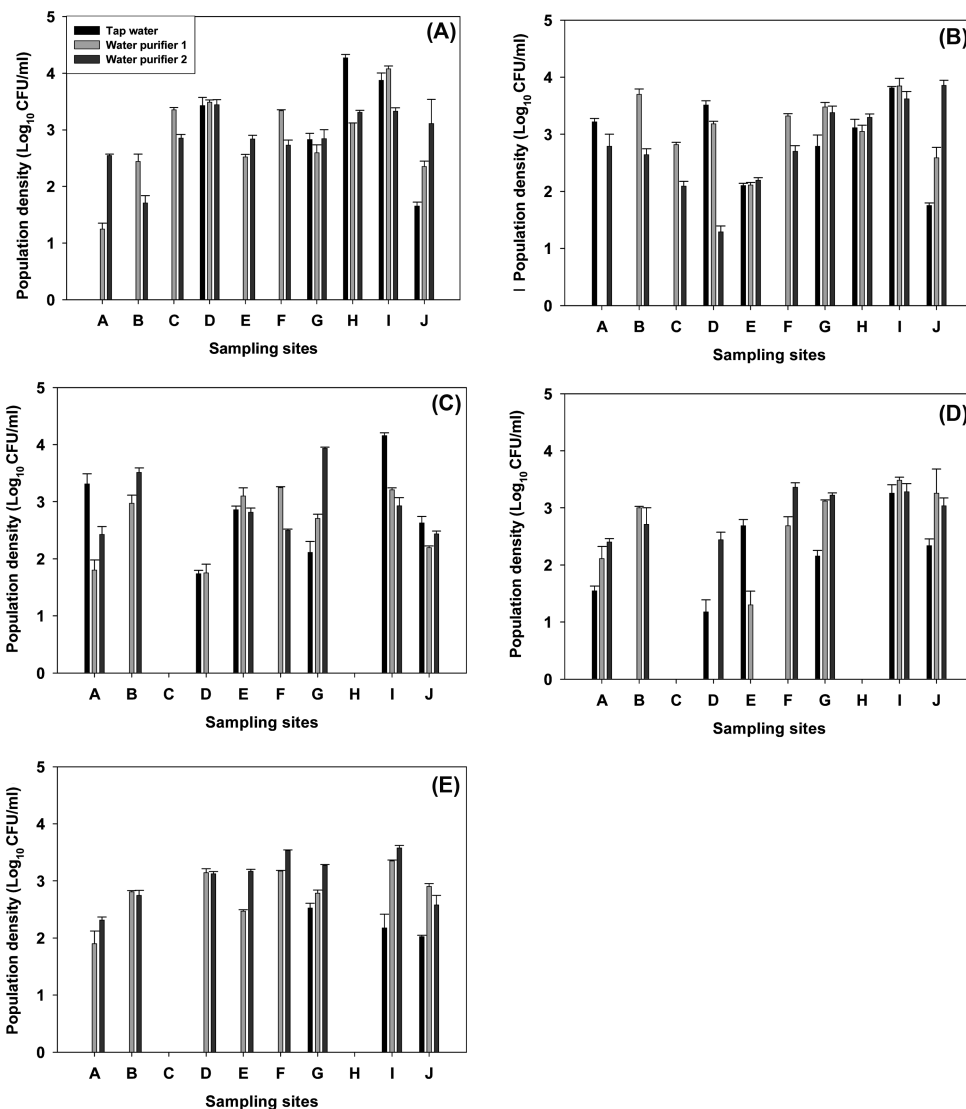


Fig. 1. Population densities of heterotrophic bacteria sampled from tap water and water purifiers in July (A), September (B), October (C), November (D), and December (E) 2007 at each elementary school in Gunsan area.

$1.4 \pm 0.16 \times 10^4$ CFU/ml이었고 같은 학교의 정수기 물도 $8.5 \pm 3.0 \times 10^2$ CFU/ml과 $1.6 \pm 0.1 \times 10^3$ CFU/ml이었다. G-1 정수기 물은 $8.6 \pm 0.4 \times 10^3$ CFU/ml로 10월에 측정된 정수기 물 중 최대치를 나타냈다. B학교와 F학교의 수도물은 중속영양세균이 검출되지 않았으나 정수기 통과 후 현저히 많은 중속영양세균이 검출되었는데 특히 B학교의 정수기 물은 $9.4 \pm 2.8 \times 10^2$ CFU/ml (B-1)과 $3.3 \pm 0.6 \times 10^3$ CFU/ml (B-2)의 결과를 나타냈다. 반면, A와 I학교의 정수기 물은 수도물의 측정값 보다 줄어든 수치의 중속영양세균이 검출되었다.

11월 실시된 4차 실험 결과, 먹는 물 수질기준인 100 CFU/ml 이하를 충족하는 정수기는 D학교의 정수기 물 한 개와 E학교 정수기 물 두 개로 D-1은 0 CFU/ml, E-1은 $2.0 \pm 1.0 \times 10^1$ CFU/ml, E-2는 0 CFU/ml로 나타났다. 수도물의 경우는 A, B, D, F 학교가 100 CFU/ml 이하로 나타났다(Fig. 1D). I학교의 정수기 물이 $3.1 \pm 0.4 \times 10^3$ CFU/ml로 최대값을 나타냈으며, 같은 학교의 수도물도 11월 검사된 수도물 중 가장 높은 값인 $1.8 \pm 0.6 \times 10^3$ CFU/ml이었다. 이 학교의 I-2 정수기 물도 $1.9 \pm 0.6 \times 10^3$ CFU/ml로 역시 높은 값을 나타냈다. B학교와 F학교의 수도물에서는 중속영양세균이 검출되지 않은 반면 정수기 통과 후 각각 $1.0 \pm 0.06 \times 10^3$ CFU/ml과 $5.1 \pm 2.7 \times 10^2$ CFU/ml 및 $4.9 \pm 1.6 \times 10^2$ CFU/ml과 $2.3 \pm 0.4 \times 10^3$ CFU/ml의 결과를 나타냈다.

12월의 5차 실험 결과, 먹는 물 수질기준을 충족하는 정수기 물은 A학교의 정수기 물 한 개로 $8.0 \pm 4.4 \times 10^1$ CFU/ml이었다. 수도물의 경우는 A, B, D, E, F학교에서 중속영양세균이 검출되지 않았다(Fig. 1E). I학교의 정수기 물이 $3.8 \pm 0.4 \times 10^3$ CFU/ml로 최대값을 나타냈으며, G학교의 수도물이 12월에 검사된 수도물 중 가장 높은 값인 $3.4 \pm 0.6 \times 10^2$ CFU/ml이었고, 이 학교의 정수기 물도 $6.1 \pm 0.7 \times 10^2$ CFU/ml~ $1.9 \pm 0.1 \times 10^3$ CFU/ml로 높은 값을 나타냈다. A, B, D, E, F학교의 수도물에서는 중속영양세균이 검출되지 않은 반면, 정수기 통과 후 최소 $8.0 \pm 4.4 \times 10^1$ CFU/ml에서 최대 $3.4 \pm 0.1 \times 10^3$ CFU/ml까지 증가된 결과를 나타냈다.

약 6개월에 걸쳐 진행된 조사에서 각 정수기의 중속영양세균의 평균값은 7월의 경우, $1.8 \pm 0.6 \times 10^1$ ~ $1.2 \pm 0.2 \times 10^4$ CFU/ml, 9월의 경우, $0 \sim 7.2 \pm 1.8 \times 10^3$ CFU/ml, 10월의 경우, $0 \sim 8.6 \pm 0.4 \times 10^3$ CFU/ml, 11월의 경우, $0 \sim 3.1 \pm 0.4 \times 10^3$ CFU/ml, 12월의 경우, $8.0 \pm 4.4 \times 10^1 \sim 3.8 \pm 0.4 \times 10^3$ CFU/ml로 7월에 측정된 시료 중 I-1 정수기가 $1.2 \pm 0.2 \times 10^4$ CFU/ml로 최고값을 보여, 월별 수질기준을 초과하는 정수기의 백분율은 7월과 9월에 90%, 10월과 11월에 87.2%, 12월에 93.7%로 조사되었다.

한편 각 정수기의 원수가 되는 수도물별 중속영양세균의 평균값을 살펴보면, 7월에는 $0 \sim 1.9 \pm 0.3 \times 10^4$ CFU/ml, 9월에는 $0 \sim 6.5 \pm 0.37 \times 10^3$ CFU/ml, 10월에는 $0 \sim 1.4 \pm 0.16 \times 10^4$ CFU/ml, 11월에는 $0 \sim 1.8 \pm 0.6 \times 10^3$ CFU/ml, 12월에는 $0 \sim 3.4 \pm 0.6 \times 10^2$ CFU/ml을 나타냈다. 7월의 경우, H교의 수도물에서의 중속영양세균의 측정값이 $1.9 \pm 0.3 \times 10^4$ CFU/ml로 먹는 물 수질기준에 크게 초과하는 값을 나타냈다. 학교 별로 수질기준을 초과하는 수도물은 7월에 40%, 9월에 60%, 10월에 62.5%, 11월에 50%, 12월에 37.5%로 조사되었다.

조사기간 중 PetriFilm™ Coliform Count Plate (3M, USA)와 MPN 실험법으로 대장균군을 조사하였으나 모든 학교 정수기 물에서 검출되지 않았다. 장내 병원성균인 *Salmonella* 속, *Shigella* 속의 균들을 검출하기 위한 선택배지로 사용된 Bismuth sulfite agar (Difco, USA)와 Xylose lysine desoxycholate agar (Difco, USA)를 사용하여 배양한 결과 모든 학교의 정수기 물에서 해당균이 검출되지 않았다.

세균의 분리 및 동정

검사기간 중 채수된 정수기 물에서 세균을 분리하여 분자생물학적인 방법으로 동정한 결과, *Alphaproteobacteria* group 17종, *Betaproteobacteria* group 6 종, *Gamaproteobacteria* group 3 종, *Firmicutes* group 7 종, *Actinobacteria* 6 종, *Bacteroidetes* 2종, *Sphingobacteria* 1종으로 나타났다(Table 1).

출현 속을 살펴보면, *Alphaproteobacteria* group에 속하는 균주로는 *Sphingomonas*, *Methylobacterium*, *Caulobacter*, *Novosphingobium*, *Bosea*, *Brevundimonas*, *Aminobacter*가 동정되었고, *Betaproteobacteria* group에 속하는 균주로는 *Ralstonia*, *Mitsuaria*, *Variovorax*, *Acidovorax*, *Massilia*가 동정되었으며, *Gamaproteobacteria* group에 속하는 균주로는 *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*가 동정되었다. 한편, *Firmicutes* group에 속하는 균주로는 *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Brevibacillus*가 동정되었고, *Actinobacteria* group에 속하는 균주로는 *Microbacterium*, *Lapillicoccus*, *Micrococcus*, *Arthrobacter*, *Janibacter*가 동정되었다. 또한 *Bacteroidetes* group에 속하는 균주로는 *Flavobacterium*, *Chryseobacterium*가 동정되었고, *Sphingobacteria* group에 속하는 균주로는 *Hymenobacter*가 동정되는 등 총 26개 속에 속하는 세균들이 동정되었다(Fig. 2).

다른 연구보고서(6, 9, 13, 15)에서 정수기와 수도물에서 분리 동정된 세균의 종류와 본 연구결과를 비교할 때, 본 연구에서 추가로 발견된 균주들은 *Brevibacillus*, *Microbacterium*, *Lapillicoccus*, *Janibacter*, *Caulobacter*, *Aeromonas*, *Methylobacterium*, *Hymenobacter*, *Novosphingobium*, *Aminobacter*, *Brevundimonas*, *Bosea*, *Ralstonia*, *Mitsuaria*, *Variovorax*, *Acidovorax*, *Massilia* 속이다. *Sphingomonas*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Pseudomonas* 속은 현 등(15)이 정수기 용기에 서 분리 동정한 균주에서도 찾아 볼 수 있다.

고찰

자연수 중의 세균의 대부분은 수중의 유기물을 이용하여 생활하는 중속영양세균으로 각기 발육에 적합한 영양조건, 온도 등이 다르므로 중속영양세균의 수가 수중의 세균의 총수를 나타내는 것은 아니나, 중속영양세균의 수가 청정한 물에는 적거나 없고, 오염된 물일수록 많은 경향이 있으므로 물의 오염정도를 나타내는 지표가 되고 있다. 중속영양세균으로서 검출된 세균의 대부분은 직접 병원균과는 관련이 없으나, 중속영양세균이 다수 검출된 물은 병원균에 오염되어 있다는 것을 의미한다(15). 우리나라 먹는 물 수질기준은 중속영양세균수의 경우 100 CFU/ml 이하이며, 대장균은 검수 100 ml 중에서 검출되지 않아야 한다(10).

Table 1. List of 16S rDNA genes for heterotrophic bacteria isolated from water purifiers at elementary schools in Gunsan area from July to December, 2007

Serial no. and accession no.	Phylum or class	Closest match (GenBank accession no.)	Similarity (%)
150 EU730903	<i>Alphaproteobacteria</i>	<i>Sphingomonas meloni</i> (AB334774)	1383/1387 (99)
156 EU730905		<i>Caulobacter vibrioides</i> (AJ227755)	1379/1385 (99)
159 EU730906		<i>Sphingomonas stygia</i> (AB025013)	1360/1395 (97)
160 EU730907		<i>Sphingomonas wittichii</i> (CP000699)	1368/1388 (98)
161 EU730908		<i>Methylobacterium oryzae</i> (AY683046)	1335/1373 (97)
172 EU730909		<i>Novosphingobium capsulatum</i> (D16147)	1368/1389 (98)
182 EU730910		<i>Methylobacterium brachiatum</i> (AB252205)	1370/1382 (99)
186 EU730911		<i>Sphingopyxis panaciterrae</i> (AB245354)	1382/1391 (99)
187 EU730912		<i>Bosea thiooxidans</i> (AJ250798)	1379/1389 (99)
207 EU730914		<i>Brevundimonas diminuta</i> (EU352761)	1355/1362 (99)
212 EU730915		<i>Caulobacter vibrioides</i> (AJ227755)	1379/1387 (99)
213 EU730916		<i>Novosphingobium capsulatum</i> (D16147)	1376/1386 (99)
215 EU730917		<i>Sphingomonas yunnanensis</i> (AY894691)	1352/1391 (97)
220 EU730918		<i>Sphingomonas echinoides</i> (AJ012461)	1371/1386 (98)
227 EU730919		<i>Aminobacter niigataensis</i> (AJ011761)	1382/1383 (99)
230 EU730920		<i>Novosphingobium taihuense</i> (AY500142)	1357/1374 (98)
231 EU730921		<i>Sphingomonas panni</i> (AJ575818)	1366/1392 (98)
149 EU730922	<i>Betaproteobacteria</i>	<i>Ralstonia pickettii</i> (DQ908951)	1432/1435 (99)
162 EU730923		<i>Mitsuaria chitosanitabida</i> (AB006851)	1416/1438 (98)
167 EU730924		<i>Variovorax paradoxus</i> (AF532868)	1428/1434 (99)
179 EU730925		<i>Acidovorax delafieldii</i> (AB269774)	1422/1428 (99)
205 EU730926		<i>Massilia timonae</i> (EU373360)	1420/1439 (98)
228 EU730927		<i>Acidovorax facilis</i> (AF078765)	1428/1434 (99)
166 EU730928	<i>Gamaproteobacteria</i>	<i>Pseudomonas fluorescens</i> (AM410631)	1428/1433 (99)
178 EU730929		<i>Acinetobacter johnsonii</i> (EU594557)	1422/1443 (98)
189 EU730930		<i>Aeromonas eucrenophila</i> (X60411)	1431/1440 (99)
175 EU730931	<i>Firmicutes</i>	<i>Staphylococcus cohnii</i> (AB009936)	1446/1448 (99)
176 EU730932		<i>Brevibacillus invocatus</i> (AF378232)	1413/1434 (98)
183 EU730933		<i>Bacillus licheniformis</i> (AY162134)	1439/1447 (99)
199 EU730935		<i>Staphylococcus hominis</i> (AJ717375)	1446/1448 (99)
200 EU730936		<i>Staphylococcus epidermidis</i> (AE015929)	1448/1451 (99)
216 EU730937		<i>Bacillus pumilus</i> (CP000813)	1444/1446 (99)
218 EU730938		<i>Brevibacillus centrosporus</i> (AB112719)	1424/1436 (99)
154 EU730939	<i>Actinobacteria</i>	<i>Microbacterium trichotecenolyticum</i> (AB167383)	1416/1426 (99)
158 EU730940		<i>Lapillicoccus jejuensis</i> (AM398397)	1353/1390 (97)
164 EU730941		<i>Micrococcus luteus</i> (EU438932)	1412/1417 (99)
173 EU730942		<i>Microbacterium flavescens</i> (AB004716)	1402/1421 (98)
234 EU730943		<i>Arthrobacter agilis</i> (AF511518)	1414/1436 (98)
221 EU730944		<i>Janibacter anophelis</i> (AY837752)	1403/1424 (98)
188 EU730945	<i>Bacteroidetes</i>	<i>Flavobacterium johnsoniae</i> (AM230488)	1393/1418 (98)
202 EU730946		<i>Chryseobacterium hominis</i> (AM423083)	1404/1410 (99)
214 EU730947	<i>Sphingobacteria</i>	<i>Hymenobacter rigui</i> (DQ089669)	1401/1419 (98)

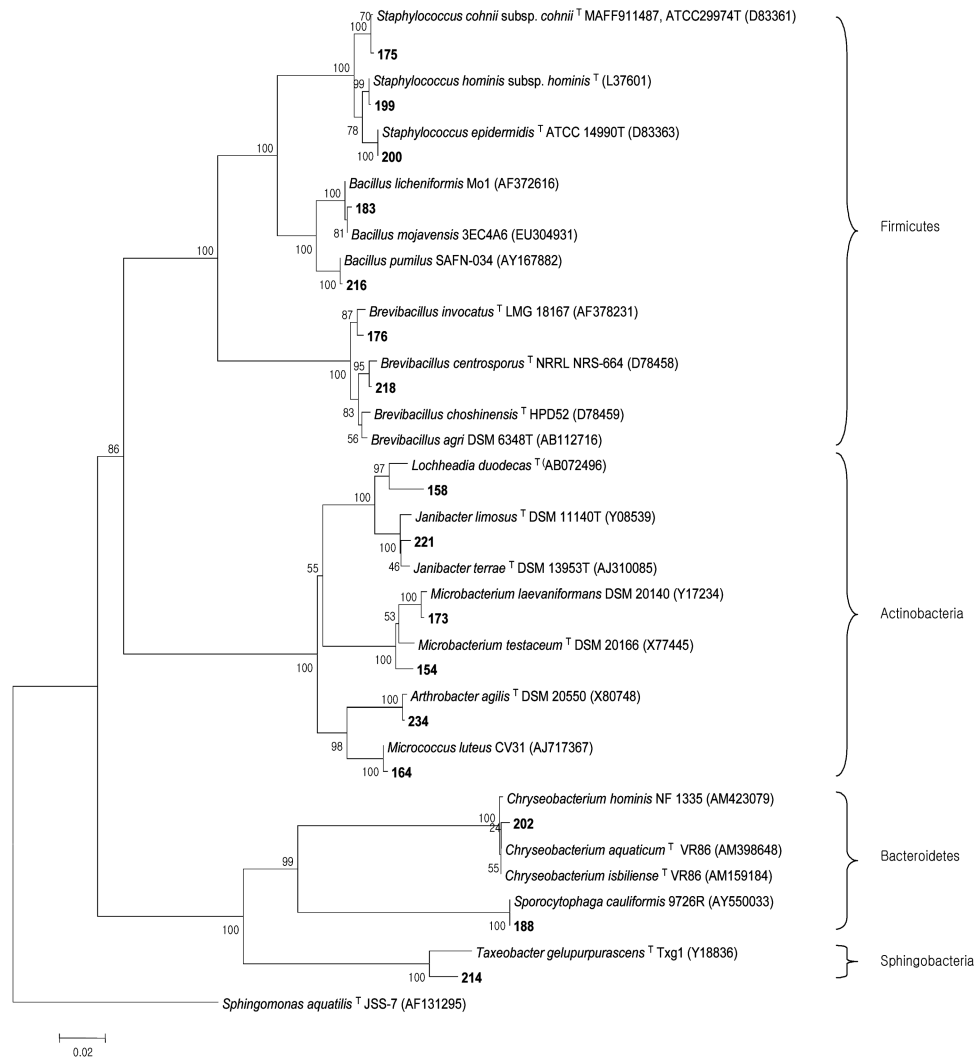


Fig. 2. Phylogenetic tree showing the affiliation of 16S rDNA sequences to selected reference sequence of general bacteria isolated from water purifiers. The tree was constructed from a distance matrix by the neighbour-joining analysis. The bar represents 0.02% estimated sequence divergence.

물에서 대장균을 측정하는 목적은 대장균 자체의 위험성보다는 물에서 대장균이 나올 경우, 가축과 사람으로부터 기원된 분뇨 등으로 오염되어 있는 것을 의미하기 때문이다. 따라서 그러한 물은 인간 활동에 의해 기원한 병원균으로 오염되어 있거나 그 가능성이 높다. 그리고 물에 존재하는 대장균의 검출은 비교적 용이하고 확실하므로 위생학적 수질시험 범주에서 가장 중요한 항목이다(8). 그러므로 그 존재는 장관 내 병원성 세균인 *Salmonella* 속, *Shigella* 속의 수인성 전염균에 의한 오염의 가능성이 있음을 나타내며(13), 만일 이들이 오염된 물이 구강을 거쳐 장관 내로 들어오면 장티푸스나 이질에 의한 급성설사, 복통, 발열과 심한 패혈증을 일으켜 생명에 위협을 줄 수 있다.

약 6개월에 걸쳐 진행된 조사에서 각 정수기의 중속영양세균의 평균값은 7월의 경우, $1.8 \pm 0.6 \times 10^1 - 1.2 \pm 0.2 \times 10^4$ CFU/ml, 9월의 경우, $0 \sim 7.2 \pm 1.8 \times 10^3$ CFU/ml, 10월의 경우, $0 \sim 8.6 \pm 0.4 \times 10^3$ CFU/ml, 11월의 경우, $0 \sim 3.1 \pm 0.4 \times 10^3$ CFU/ml, 12월의 경우,

$8.0 \pm 4.4 \times 10^1 \sim 3.8 \pm 0.4 \times 10^3$ CFU/ml로 7월에 측정된 시료 중 I-1 정수기가 $1.2 \pm 0.2 \times 10^4$ CFU/ml로 최고값을 보였는데, 이는 우리나라 먹는 물 수질기준(10)을 120배 초과하는 값이었다. 기온이 낮은 겨울철의 수도물에 존재하는 중속영양세균의 수가 현저히 저하된다는 선행 연구결과(5, 12)와 마찬가지로 본 연구에서도 조사된 수도물의 62.5%에서 중속영양세균이 검출되지 않았다. 하지만 조사가 실시된 기간 중 정수기의 중속영양세균수는 기온이 낮은 12월의 측정치가 7월과 9월의 중속영양세균 측정치보다 오히려 기준치를 초과한 수가 더 많았으며 16개의 정수기 물 중 단 한 개만이 수질기준을 만족시키고 있는데, 이는 정수기 설치 장소가 난방이 실시되는 실내인 경우가 대부분이었고, 겨울철에 학생들의 물 섭취량이 적어져 정수기 탱크 내에 물이 저류되어 있는 시간이 길어짐으로써 더 많은 미생물이 성장된 결과로 사료된다. 따라서 정수기 내의 중속영양세균 발생 정도에 미치는 계절변화의 영향은 미미한 것으로 보이며, 이것은 이(12)와 김

등(4)의 연구와도 일치하는 결과이다. 실험 기간 중 정수기에서 검출된 종속영양세균수와 그 원수인 수도물의 종속영양세균수를 비교하여 보면, 수도물에서의 종속영양세균수보다 정수기 물에서 현저히 높은 결과가 나왔다. 특히 B학교와 F학교 및 J학교의 경우에서 보면 실험 기간 동안 수도물에서는 검출세균이 없거나 적게 검출되었으나 정수기 물에서는 종속영양세균이 다량 검출되는 양상을 볼 수 있었다. 이러한 결과는 수도물과 정수기 물에서 정수된 물이 가지는 소독능의 차이에 기인하는 것으로 사료되고, 정수기의 미생물학적 안전성을 보장받기 위해서는 정수기 내부와 취수부에 소독능을 확보 할 수 있는 대안이 마련되어야 할 것이다(12).

정수기의 원수가 되는 수도물의 수질 또한 학교에 따라 차이가 큰데, 많은 학교에서 직수가 아닌 저수조를 통하여 수도물이 공급되고 있어 각 학교의 저수조의 위생 상태에 따라 원수의 미생물 오염가능성이 존재한다. 서울의 초등학교를 중심으로 조사한 바에 의하면(5), 조사대상 학교 중 저수조를 사용하는 학교의 수도물 중 93%가 수질기준에 부적합한 것으로 나타났다. 이처럼 많은 학교에서 저수조 청소가 정해진 시기로 이루어지지 않아 저수조 관리가 소홀한 것으로 보고되었다(16). 저수조의 청소는 6개월에 1회로 규정되어 있고 정기적인 수질검사를 하도록 되어 있는데, 그 대상 학교가 지하수 또는 지하수와 상수도를 함께 사용하는 학교로 정해져 있어(14) 상수도 사용학교는 수질검사가 보고사항이 아니기 때문에 그 관리가 미비한 것으로 사료된다. 또한 노후한 급·배수관의 사용으로 미생물의 증식 가능성과 기타 중금속의 용출 등으로 인한 수질변화 가능성이 있다(5). 실험 결과, 정수기 인입수인 수도물의 종속영양세균수 초과율 또한 높은 것을 알 수 있는데 우리나라 상수도의 정수과정에서의 세균 제거효율은 대장균군에 대해서는 100%, 종속영양세균의 경우 96%, 총세균수에 있어서는 77% 정도로서 소독공정에 의하여 제거되지 않는 세균이 많은 것으로 알려져 있다. 또한 박 등(6)의 연구에 의하면, 정수 처리된 물이 배급수 계통에서는 최대 110배의 종속영양세균수 증가를 보였고, 정수에서는 검출되지 않던 장내세균이 배급수 계통에서는 비교적 많은 수가 검출됨을 보고했으며 이는 배급수관 내부에서 소독에 의해 손상되었던 손상세균이 재생장한 결과라 밝히고 있다. 특히 이 세균의 재생장 현상은 수온이 20°C 이상인 경우 언제나 일어나며 관말로 갈수록 그 현상이 두드러지게 발생하는데, 가장 큰 환경요인으로는 수온과 잔류염소농도 등이다(9). 정수기 물의 경우 염소농도가 원수인 수도물보다 현저히 낮거나 검출되지 않으므로(12) 정수기 내에서의 세균 재생장의 가능성 또한 더욱 높아진다 하겠다. 그러므로 일선 학교에서는 저수조 사용을 지양하고 직결 급수를 사용토록 해야 하며 노후 된 급·배수관의 교체와 함께 적절한 정수기종의 선택 및 정수기 여과기의 교체가 각 정수기마다 그 사용여건에 맞게 적절한 시기에 이루어져야 한다. 또한 정수기내의 청소방법 및 안전한 사용법 지도 등 위생관리를 위한 노력이 이루어져야 하고, 끓인 음용수 공급 등의 보다 안전한 음용수의 급수를 위한 대안을 강구하여야 할 것이다.

본 연구에서 정수기와 수도물에서 조사기간 중 병원성 세균은

검출되지 않았다. 그리고 검출된 세균의 대부분은 일반 환경에 다량 존재하는 미생물로서 병원성을 나타내지 않는다. 하지만 이들 중 *Pseudomonas fluorescens*, *Staphylococcus epidermidis*, *Flavobacterium johnsoniae*, *Acinetobacter johnsonii*, *Chryseobacterium hominis* 등은 병원성은 낮으나 기회감염으로서 병을 일으킬 수 있는 균(opportunistic pathogens)으로 저항력이 낮은 환자에게 감염증을 일으킬 수 있다. 특히 면역력이 낮은 초등학교 학생들의 경우 감염의 가능성을 간과할 수 없어 더욱 주의를 요한다.

감사의 말

이 연구 수행에 기술적 도움을 준 군산대학교 해양개발연구소에 감사드립니다.

참고문헌

1. 김경진, 김형석. 2000. 음용수 중 미생물 오염의 빠른 검출을 위한 신기술과 그에 대한 고찰. 경희대학교 지구환경연구회 논문집 11, 17-22.
2. 김은아, 김중수, 최일우, 김상훈, 최필권, 김태현, 이경희, 이수문, 신형순. 2003. 가정용 정수기의 효율적 이용에 관한 연구. 경기도보건환경연구원보 16, 93-101.
3. 김정덕, 박종안. 1993. 음용수 이용현황 및 가정용 정수기 관리실태. 순천향대학교 논문집 16, 847-864.
4. 김철호, 조용운, 김홍출, 이상원. 1999. 수도물과 정수기 물의 미생물학적 수질. 진주산업대논문집 38, 207-214.
5. 문경환. 2002. 학교 급수위생관리현황(초등학교를 중심으로). 고려대학교병설 보건대학 보건과학연구소논문집 10, 27-46.
6. 박성주, 조재창, 김상중. 1993. 상수도 계통에서의 미생물상. 한국미생물학회지 31, 245-254.
7. 박현정. 2007. 통계로 본 학생인구의 성장 628, 38-44.
8. 배명숙. 2003. 금강호에서 항생제 내성균의 연간 군집 변화에 관한 연구. 석사학위논문. 군산대학교.
9. 안중훈, 방숙전, 박성주. 1997. 대전대학교내 먹는 지하수의 미생물학적 수질 평가. 대전대학교 기초과학연구소 自然科學 8, 56-64.
10. 안태석, 안승구, 권오섭, 박성주, 신윤근, 안태영, 이건형. 2007. 환경미생물학, p. 380. 신광문화사.
11. 유은아, 김정수, 민혜기. 1998. 성신여자대학교 교내 및 학교 주변 음용수검사. 성신연구논문집. 36, 737-759.
12. 이태관. 2004. 계절에 따른 수도와 정수기의 수질비교. 계명대학교 낙동강 환경원 환경과학논문집 9, 133-137.
13. 이호원, 김은희. 2001. 마산, 창원지역 음용수의 미생물오염현황. 경남대학교 환경문제연구소 환경연구 24, 23-32.
14. 전라북도교육청. 2008. 학교 먹는 물 관리기준.
15. 현병용, 이상환, 최용운, 박홍우. 1998. R/O 정수기 저장용기내의 미생물 검정. 한양대학교 Journal of RIEET. 4, 25-30.
16. 홍정하. 2001. 학교음용수 관리 및 이용실태. 석사학위논문, 한국교원대학교.
17. Altschul, S.F., T.L. Madden, A.A. Schffer, J. Zhang, Z. Zhang, W. Miller, and D.J. Lipman. 1997. Gapped BLAST and PSI-BLAST: a new generation of protein database search programs. *Nucleic Acids Res.* 25, 3389-3402.
18. Roh, S.W., Y. Sung, Y.D. Nam, H.W. Chang, K.H. Kim, J.H. Yoon, C.O. Jeon, H.M. Oh, and J.W. Bae. 2008. *Arthrobacter soli*

- sp. nov., a novel bacterium isolated from wastewater reservoir sediment. *J. Microbiol.* 46, 40-44.
19. Schuurman, T., R.F. De Boer, A.M.D. Kooistra-Smid, and A.A. Van Zwet. 2003. Prospective study of use of PCR amplification and sequencing of 16S ribosomal DNA from cerebrospinal fluid for diagnosis of bacterial meningitis in a clinical setting. *J. Clin. Microbiol.* 42, 734-740.
20. Tamura, K., J. Dudley, M. Nei, and S. Kumar. 2007. MEGA4: Molecular Evolutionary Genetics Analysis (MEGA) Software Version 4.0. *Mol. Biol. Evol.* 24, 1596-1599.
21. Willets, N.P., F. Sacaife, D. Leach, and A. Galizzi. 1985. *Genetics of Bacteria*, p. 165-195, 1st ed. Academic Press, London, UK.

(Received March 10, 2009/Accepted March 18, 2009)

ABSTRACT : Microbiological Water Quality of Water Purifiers at Elementary Schools in Gunsan Area
Lan Ju Seo, Suhk Hwan Park, and Geon-Hyoung Lee* (Department of Biology, College of Natural Sciences, Kunsan National University, Jeon-buk 573-701, Republic of Korea)

In this research, we investigated the actual conditions of water purification systems at ten elementary schools located in Gunsan, Korea from July to December, 2007. The results were as follows; The population densities of heterotrophic bacteria in water purifiers ranged from 0 to $1.2 \pm 0.2 \times 10^4$ CFU/ml and those of tap water were in the range from 0 to $1.9 \pm 0.3 \times 10^4$ CFU/ml during investigation periods. Ninety percentage of purified water samples in July and September, 87.2% in October and November, and 93.7% in December turned out not to be suitable for drinking. The seasonal variation of the population densities of heterotrophic bacteria from purified waters was not notable. The total coliform, *Salmonella* and *Shigella* were not detected in purified water and tap water during investigation periods. Forty-five species of bacteria were isolated from water purifiers. The identified bacterial genera were *Sphingomonas*, *Methylobacterium*, *Caulobacter*, *Novosphingobium*, *Bosea*, *Brevundimonas*, *Aminobacter*, *Ralstonia*, *Mitsuaria*, *Variovorax*, *Acidovorax*, *Massilia*, *Pseudomonas*, *Acinetobacter*, *Aeromonas*, *Bacillus*, *Staphylococcus*, *Brevibacillus*, *Microbacterium*, *Lapillicoccus*, *Micrococcus*, *Arthrobacter*, *Janibacter*, *Flavobacterium*, *Chryseobacterium*, and *Hymenobacter*. Among the isolates, opportunistic pathogens such as *Pseudomonas fluorescens*, *Staphylococcus epidermidis*, *Flavobacterium johnsoniae*, and *Acinetobacter johnsonii* were also found.