

## 광주지역내 바닥분수 재이용수에서 분리한 장구균의 항생제 내성 연구

김연희<sup>†</sup> · 송형명 · 최영섭 · 이윤국 · 박진환 · 김선정 · 김하람 · 강유미 · 배석진 · 조영관  
광주광역시보건환경연구원

### A Study of Antibiotic Resistance of Enterococci Isolated from Recycling Water of Floor Fountains in Gwangju Area

Yeon-Hee Kim<sup>†</sup>, Hyeong-myeong Song, Yeong-Seop Choi, Yoon-Kook Lee, Jin-Hwan Park,  
Sun-Jung Kim, Ha-Ram Kim, Yu-Mi Kang, Seok-Jin Bae, and Yong-Gwan Cho  
Health and Environment Research Institute of Gwangju

#### ABSTRACT

**Objectives:** This study aims to evaluate water quality in terms of microorganisms and identify the antibiotic resistance of Enterococci isolated from the recycling water in floor fountains at three parks and one reservoir in the Gwangju area.

**Methods:** Water samples were analyzed for Enterococci using membrane Enterococcus indoxyl β d glucoside agar (mEI) as described in USEPA Method 1600. The vancomycin-resistant Enterococci with *VanA* and *VanB* were identified by PCR. An examination of the antibiotic resistance of isolates against 14 antibiotics was performed by the disk diffusion method.

**Results:** The drinking water quality criterion was exceeded for total colony counts in 68% of all recycling water samples. The average concentration of total coliforms and fecal coliforms was 139,325 and 413 CFU/100 mL, respectively. *VanA* and *VanB* were not detected from the isolates. We found the antibiotic resistant Enterococci strains to be *E. faecalis*, *E. faecium*, *E. durans*, *E. mundtii*, *E. hirae*, and *E. thailandicus*. The isolates were resistant to Rifampin (50%), Erythromycin (25.8%), Tetracycline (10.2%), Nitrofurantoin (8.1%), Minocycline (3.1%), Erythromycin (1.2%), Penicillin (0.7%), Norfloxacin (0.5%), and Teicoplanin (0.5%) among the 14 antibiotics tested. Antibiotic resistance tests for Enterococci from the recycling water of floor fountains resulted in 30.2% showing resistance to two or more antibiotics.

**Conclusions:** These results showed that the multi-antibiotic resistance of Enterococci, *E. coli*, and others should be investigated continuously in each environment field.

**Key words:** Enterococci, antibiotic resistance, floor fountains, *VanA*, *VanB*

## I. 서론

여름철에 시원하게 쏟아지는 물에 더 가까이 가고 싶고, 보는 것만으로도 청량감을 주는 바닥분수는 폭염과 열대야로 인한 무더위를 식힐 수 있는 공간이다. 물놀이형 수경시설은 수돗물, 지하수 등을 인위

적으로 저장 및 순환하여 이용하는 분수, 연못, 폭포, 실개천 등의 인공시설물 중 일반인에게 개방되어 이용자의 신체와 직접 접촉하여 물놀이를 하도록 설치하는 시설을 말한다.<sup>1)</sup> 또한, 여름철 어린이들의 물놀이 공간으로서 시설 내에서 물을 직접 만지고 입에 접촉하는 경우가 많아 면역력이 취약한 아동의

<sup>†</sup>Corresponding author: Health and Environment Research Institute of Gwangju, 149, Hwajeong-ro, Seo-gu, Gwangju, Republic of Korea, Tel: +82-62-613-7610, Fax: +82-62-613-7619, E-mail: kyh7513@korea.kr  
Received: 30 April 2019, Revised: 07 June 2019, Accepted: 10 June 2019

경우 병원성 미생물에 직접적으로 노출 될 수 있다. 병원성 대장균을 비롯한 세균의 감염에 의한 질환과 질병을 치료하기 위해 항생제를 사용하고 있다. 그러나 항생제의 사용이 증가되면서 항생제의 내성균이 나타나게 되었다.<sup>2)</sup> 항생제가 하천 등의 자연으로 방출되어 항생제 다제 내성균과 슈퍼박테리아가 출현함에 따라 중요한 문제로 인식되고 있다.<sup>3,7)</sup> 축산 등의 폐수와 하수에서의 처리과정에서도 분해되지 않고 배출되는 두 가지 이상의 항생제 내성균이 출현하게 되었으며,<sup>8)</sup> 한국뿐만 아니라 세계적으로 항생제 내성률이 증가되고 있는 실정이다.<sup>9)</sup> 하수처리장이 하천에 미치는 유해성을 계절별로 관찰하여 전체 미생물 중 항생제 내성 세균의 비율은 수온에 비례한다는 결과를 얻었다. 이 결과는 지구 온난화가 미생물 유해성을 증가시킬 가능성을 시사한다.<sup>10)</sup> 반코마이신 내성 장알균(*vanomycin-resistant enterococci*)은 1968년 유럽에서 처음 동정된 후<sup>11,12)</sup> 미국에서 대형병원들을 중심으로 분리가 급증하였다.<sup>13)</sup> 장구균은 정상인에게는 병을 일으키지는 않지만 노인이나 면역력이 약한 사람에게는 각종 기회 감염증을 유발하기 때문에 중요한 의미를 갖는다.<sup>14)</sup> 대부분 *E. faecalis*와 *E. faecium*이 비뇨기계와 혈류를 통한 감염을 주로 일으킨다. 미국 환경보호청(USEPA)에서는 지하수 등의 먹는물에서 장구균의 검출 여부를 검사하도록 하고 있으며, 선진국에서는 장구균을 분변오염 지표항목으로 설정하여 관리 하고 있다.<sup>15,16)</sup> 2015년에 GLASS (Global Antimicrobial Resistance Surveillance System)를 도입하였으며, 세계 항생제 내성 현황을 모니터링하고 신속한 대응체계를 구축하기 위한 국제 표준화된 항생제 내성 감시체제이다.<sup>17)</sup> 현재 우리나라는 슈퍼박테리아 6종(반코마이신 내성 황색포도알균, 반코마이신 내성 장알균, 메티실린 내성 황색포도알균, 다제 내성 녹농균, 다제 내성 아시네토박터 바우마니균 및 카바카바페넴 내성 장내세균속 균종)을 법정 감염병으로 지정하였으며, 국가 항생제 내성 관리대책을 마련 중이다.<sup>18)</sup> 항생제 내성 대장균 중 2가지 이상의 다제 내성균은 동물 분변, 분변에 오염된 물에서 많이 검출되어지므로, 소독을 실시하지 않고 음용할 경우 항생제 내성이 생성된 사람이 증가하는 현상이 발생 할 수 있다.<sup>19,20)</sup> 1992년 국내 수계에서 *VanA*형 유전자를 가진 *Enterococcus durans*가 처음 발견된 이후로 반코마

이신 사용의 증가와 함께 현저하게 분리되었으나 바닥분수의 장구균의 항생제 내성에 대한 연구는 미비한 실정이다. 본 연구에서는 지구온난화의 영향으로 시민들이 수변공원이나 물놀이 시설의 이용이 증가되고 있어 바닥분수 재이용수에서 분리한 장구균의 종류 및 항생제 내성을 파악하여 항생제에 대한 환경정책 수립의 기초자료로 제공하고자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 대상지역 및 연구대상

광주광역시 내에 설치된 물놀이형 수경시설 중 공원에 바닥분수가 설치된 3개소와 저수지 바닥분수 1개소의 재이용수를 7월에서 8월까지 채수하였다. 미생물인 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군을 먹는물수질공정시험기준 시험방법, 대장균을 수질오염공정시험기준 시험방법으로 분석하였다. 공원의 바닥분수 3지점 모두 가동시간은 매일 3회(12, 15, 20시) 30분 정도 가동되었으며, D저수지의 바닥분수는 오후 12시부터 18시까지 50분 가동하고 10분 멈추도록 시스템이 구성되었다.

### 2. 장구균 분석방법 및 균주보관

장구균 분석방법은 USEPA method 1600 (enterococci in water by Membrane filtration Using membrane Enterococcus indoxyl-β-D-Glucoside Agar) 검출시험법에 준하여 실험하였다. 20-60개의 콜로니가 형성되도록 시료 100, 50, 10 mL를 각각 멸균된 47 mm, 0.45 μm의 멤브레인필터에 여과하였고 이 여과지를 장구균 선택배지인 mEIA 고체배지에 격자무늬가 보이도록 정지한 후 페트리디쉬를 거꾸로 뒤집어 41±0.5°C에서 24±2시간 배양하였다. 배양 후 여과지 위에 형성된 전형적이 blue halo 콜로니를 개수하여 100 mL당 장구균 수치로 환산하였다.

최종 확정을 위해 mEIA 고체배지의 장구균 추정 콜로니 중 일부를 BHI (Brain heart infusion, Difco) 액체배지와 BHI 사면고체배지에 이식하여 액체배지는 24시간 동안 사면고체배지는 48시간 동안 35±0.5°C에서 배양하였다. BHI 사면고체배지의 균은 그람염색을 통해 그람양성을 확인하였고, BHI 액체배지는 BEA (Bile Esculin Agar, Difco), 6.5% NaCl을 포함한 BHI 액체배지에 접종하여 35±0.5°C에서 48시

간동안 배양 후 BEA배지에서 검은색 반응을 BHI 액체배지에서 성장여부를 관찰하였다. 균주보관은 BHI 액체배지에 접종한 후  $45\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 에서 48시간 배양을 관찰하여 최종 확정된 BHI 배양액을 멸균된 40% 글리세롤과 1:1 비율로 섞어 cyro tube에 넣고  $-75^{\circ}\text{C}$ 에 보관하였다.

### 3. 장구균의 16S rRNA를 이용한 동정

보관된 장구균을 멸균된 루프를 이용하여 BHI 고체배지에 희석점종 후  $35^{\circ}\text{C}$  배양기에서 24시간 배양한 후 배양된 콜로니를 PowerPrep™ Quick DNA Extraction Kit (E0014)를 이용하여 제공된 매뉴얼에 따라 DNA를 추출하였다.

추출된 DNA에서 16S rRNA의 증폭을 위해서 27F (5'-AGA GTT TGA TCM TGG CTC AG-3')와 1492R (5'-TAC GGY TAC CTT GTT ACG ACT T-3') universal primer를 사용하였다. 사용된 PCR 반응조건은 다음과 같다.

10× PCR reaction buffer 3  $\mu\text{L}$ , dNTP mixture (10 mM) 3  $\mu\text{L}$ , 27F와 1492R primer (10 pmol/ $\mu\text{L}$ ) 각각 2  $\mu\text{L}$ , 추출 DNA 5  $\mu\text{L}$ , Ex taq polymerase 0.2  $\mu\text{L}$ , 멸균증류수 14.8  $\mu\text{L}$ 의 조성으로 predenature  $94^{\circ}\text{C}$ , 5 분동안 반응한 다음  $94^{\circ}\text{C}$  1분,  $55^{\circ}\text{C}$  1분,  $72^{\circ}\text{C}$ , 1분 30초의 세 단계를 34 cycles을 반복한 후  $72^{\circ}\text{C}$  10 분간 반응 후 2% agarose gel에 전기영동하여 약 1.5 kb 크기의 증폭산물을 확인하였다.

### 4. 장구균의 반코마이신 내성유전자 조사

반코마이신 내성유전자 *VanA*와 *VanB*를 확인하기 위해서 시판되는 PowerChek VRE *VanA*&*VanB* Detection Kit (코젠바이오텍)를 사용하여 PCR을 수행하였다.

VRE *VanA*&*VanB* PCR premix에 추출 DNA를 5  $\mu\text{L}$ 씩 넣고 음성대조군은 멸균증류수를 5  $\mu\text{L}$ , 양성 대조군은 kit내에 들어 있는 control DNA를 5  $\mu\text{L}$ 를 넣는다.

PCR 반응조건은 predenature  $95^{\circ}\text{C}$ , 10분 동안 반응한 다음  $95^{\circ}\text{C}$  30초,  $60^{\circ}\text{C}$  30초,  $72^{\circ}\text{C}$ , 30초의 세 단계를 35 cycles을 반복한 후  $72^{\circ}\text{C}$  10분간 반응 후 2% agarose gel에 전기영동하여 내성유전자 *VanA*, *VanB* 각각 크기 340, 136 bp의 증폭산물을 확인하였다.

### 5. 장구균의 항생제 내성 확인시험

항생제 감수성 시험은 Kirby-Bauer의 Disc diffusion method로 실시하였다. 다내제성 확인 항생제의 종류는 다음과 같이 14종이다. PENICILLINS계 2종 (Penicillin 10 units, Ampicillin 10  $\mu\text{g}$ ), GLYCOPEPTIDES 2종 (Vancomycin 30  $\mu\text{g}$ , Teicoplanin 30  $\mu\text{g}$ ), MACROLIDES 1종 (Erythromycin 15  $\mu\text{g}$ ), TETRACYCLINES 2종 (Tetracycline 30  $\mu\text{g}$ , Minocycline 30  $\mu\text{g}$ ), FLUORO-QUINOLONES 3종 (Ciprofloxacin 5  $\mu\text{g}$ , Levofloxacin 5  $\mu\text{g}$ , Norfloxacin 10  $\mu\text{g}$ ), NITROFURANTOINS 1종 (Nitrofurantoin 300  $\mu\text{g}$ ), ANSAMYCINS 1종 (Rifampin 5  $\mu\text{g}$ ), PHENICOLS 1종 (Chloramphenicol 30  $\mu\text{g}$ ), OXAZOLIDINONES 1종 (Linezolid 30  $\mu\text{g}$ ) 을 사용하였다.

## III. 결과 및 고찰

### 1. 미생물 수질평가

바닥분수는 여름철 며칠째 계속되는 열대야가 지속되면서 폭염에 지친 어린이들에게 더위를 식히며 즐거운 시간을 보낼 수 있는 공간이다. 시료채취 대상은 공원바닥분수 3개소와 저수지 1개소이다.

물놀이형 수경시설의 수질기준의 검사항목은 아니지만 바닥분수의 경우 물이 위로 뿜어내면서 어린이 등이 마실 수 있는 경우가 있을 수 있어 먹는물 수질항목인 일반세균을 분석한 결과, 3개 공원에서 각각 전체시료에 대한 먹는물 수질기준(100 CFU/mL) 초과율이 70% 이상이었으며, D 저수지는 40% 이상으로 나타났다(Fig. 1).

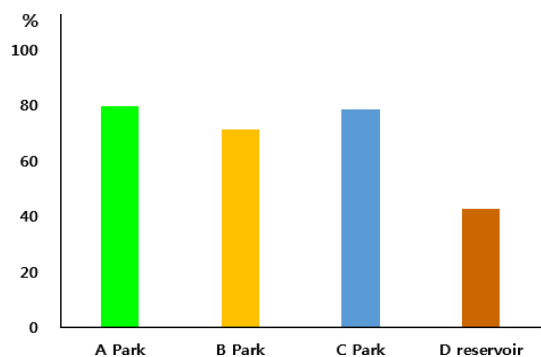


Fig. 1. The excessive proportion of drinking water quality standard for total colony counts

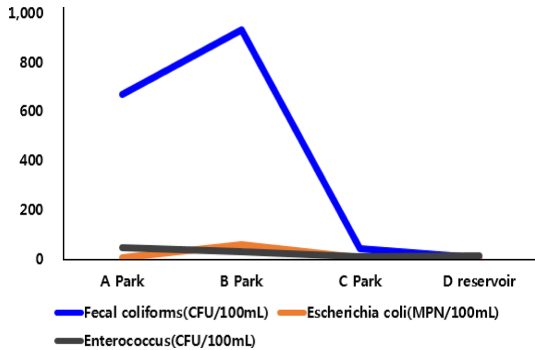


Fig. 2. The average concentration of microbiological water quality in floor fountain

4지점의 바닥분수의 총대장균군 검사결과 각각의 평균농도는 3,920, 12,709, 53,857, 2,100 CFU/100 mL, 분원성대장균군의 각각의 평균농도는 671, 933, 44, 4 CFU/100 mL이었다. 분변오염지표인 대장균군 검사결과, 각각의 평균농도 5/100, 58/100, 4/100, 3/100 mL로 물놀이형 수경시설 수질기준(200개체수/100 mL) 미만으로 모두 기준을 초과하지 않았다(Fig. 2). 장구균의 경우 평균농도도 10~47 CFU/

100 mL를 나타냈다(Fig. 3).

바닥분수는 여름철에 수돗물을 사용하여 저수조에서 재이용하여 사용하도록 되어 있고, 소독은 주로 수동방식으로 실시함에 따라 미생물학적인 수질오염 발생 가능성이 우려되고 있다. 특히 기온이 30°C 이상이 지속되고 있고, 면역력이 약한 어린이들이 땀 등의 노폐물에 노출된 상태로 이용하고 있어 더 주의 기울여야 할 것이다.

### 2. 장구균의 분리 및 등정

바닥분수 재이용수에서 검출된 장구균을 A공원 105균주, B공원 129균주, C공원 53균주, D 저수지 73균주로 총 358균주 분리하였다. A공원 장구균의 분리균주는 *E. faecalis* 97%, *E. faecium* 2%, *E. durans* 1%이었고, B공원의 경우 *E. faecalis* 29%, *E. faecium* 53%, *E. durans* 4%, *E. mundtii* 10%, *E. hirae* 4%, *E. thailandicus* 1%이었으며, C공원의 경우 *E. faecalis* 28%, *E. faecium* 68%, *E. durans* 2%, *E. hirae* 2%이었고, D 저수지의 경우 *E. faecalis* 90%, *E. faecium* 7%, *E. mundtii* 2%, *E. hirae* 1%이었다. A공원과 D 저수지의 바닥분수 재이용수에

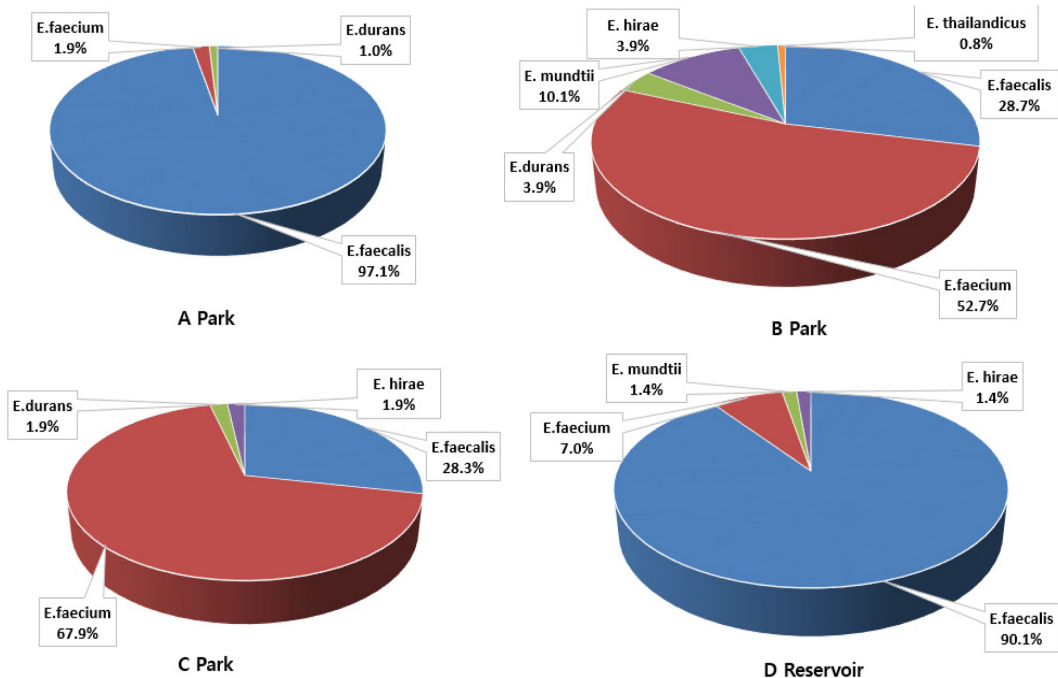


Fig. 3. Characterization of enterococcal isolates detected in recycling water of floor fountains

서 *E. faecalis* 90% 이상으로 가장 높은 빈도로 검출되었고, B와 C공원의 바닥분수 재이용수에서 각각 *E. faecium* 53, 68%로 가장 높은 빈도로 검출되었다(Fig. 3). A공원과 D 저수지는 시료채취가 주로 낮에 채수하였고, B와 C공원은 낮부터 밤까지 채수하여 비슷한 균주의 검출경향을 나타낸 것으로 판단된다. 서울시의 먹는물약수터에서 분리한 장구균 53 검체 중 *E. faecalis* 42%, *E. faecium* 18%, *E. casseliflavus* 18%이 대부분을 차지하였으며,<sup>21)</sup> *E. faecalis*과 *E. faecium*의 주로 검출되어 바닥분수 재이용수와 비슷한 경향을 나타냈다.

### 3. 장구균의 반코마이신 내성 조사

4지점의 모두 바닥분수 재이용수로부터 분리 검출된 장구균의 반코마이신 내성 유전자 확인 PCR 결과 고도내성을 나타내는 *VanA*와 유도내성 형태인 *VanB*가 모두 검출되지 않았다. 반코마이신 내성 장알균(Vancomycin-resistant enterococci, VRE)은 반코마이신에 대한 내성이 있는 장알균으로 다른 장알균보다 치료하기가 훨씬 더 어렵다. VRE는 손을 통한 직접 접촉에 의해 발생하므로 바닥분수의 재이용수가 위로 물이 올라오기 때문에 이용자들이 물놀이 하면서 재이용수를 마실 수 있고 영당이 부분이 쉽게 접촉될 수 있다. 물놀이형 수경시설에 미리 물놀이 전에 샤워할 수 있도록 샤워시설을 설치하거나 손을 씻을 수 있는 시설을 설치하여 청결을 유지하도록 개선되어야 할 것이다.

### 4. 장구균의 항생제 내성

A공원 바닥분수의 재이용수로부터 분리 검출된 장구균의 항생제 내성 확인시험 결과, Fluoro quinolones 계의 Rifampin에 3.1%로 가장 높은 항생제 내성률을 나타내었고, B공원의 경우 Fluoroquinolones계의 Rifampin 5.7%, Macrolides계 Erythromycin 3.0%, Tetracyclines계 Tetracycline 0.6%로 항생제 내성률을 나타냈다. C공원의 경우 Rifampin 5.9%, Tetracycline 4.2%, Nitrofurantoin 2.2%, Minocycline 1.6%로 항생제 내성률을 나타냈으며, D 저수지의 경우 Rifampin 6.2%에 가장 높은 항생제 내성률을 지닌 것으로 나타났다(Fig. 4).

바닥분수에서 분리한 장구균의 항생제 내성을 살펴보면, A공원의 바닥분수의 경우 한 가지 이상의

항생제 내성을 보인 균주는 44.8% (105균주 중 47균주)이며, 2가지 이상의 내성은 1.0%이었다. B공원의 바닥분수에서 장구균의 한 가지 이상의 항생제 내성을 보인 균주는 86.8% (129균주 중 112균주)이었고, 2가지 이상의 내성 51.9%, 3가지 이상의 내성 9.3%, 4가지 이상의 내성 1.6%를 나타냈으며, C공원의 바닥분수에서 장구균의 한 가지 이상의 항생제 내성을 보인 균주는 88.7% (53균주 중 47균주)이었고, 2가지 이상의 내성 67.9%, 3가지 이상의 내성 37.7%, 4가지 이상의 내성 11.3%, 5가지 이상의 내성 5.7%를 나타냈다. D 저수지의 바닥분수에서 장구균의 한 가지 이상의 항생제 내성을 보인 균주는 91.5% (71균주 중 65균주)이었고, 2가지 이상의 항생제 내성이 있는 내성균 6%를 나타냈다(Table 1, Fig. 5). 여름철 바닥분수에서 물놀이 이용자들에게 손소독제를 비치하여 손의 위생관리를 철저히 하도록 하는 것도 항생제 다제 내성균을 감소시키는데 기여할 것이다.

바닥분수의 재이용수로부터 분리 검출된 장구균의 균주별 항생제 다제 내성을 살펴본 결과, 한 가지 이상의 항생제 다제 내성을 *E. faecalis* 균주가 가장 많이 나타났고, *E. faecium* 균주가 두 가지 이상의 항생제 다제 내성을 가장 많이 나타냈으며, 3~5가지 이상의 항생제 다제 내성을 보였다. *E. durans* 균주는 두 가지와 세 가지의 항생제 다제 내성, *E. mundtii*와 *E. thailandicus* 한 가지, *E. hirae* 균주는 한 가지와 두 가지의 항생제 다제 내성을 나타냈다. 한 가지 이상의 항생제 다제 내성을 보인 균주는 대부분 *E. faecalis*, *E. faecium*이었다(Table 2). *E. faecalis* 균주는 한 가지 항생제 내성균의 검출빈도가 65.1%(218균주 중 142균주)로 가장 높았고, 두 가지 항생제 내성균의 검출빈도가 52.3%(111균주 중 58균주)가장 높은 균주는 *E. faecium*이다.

제약회사 폐수처리장 방류수에서 분리된 Enterobacteria의 항생제 내성은 13가지 항생제에 90% 이상 내성을 나타낸 *Klebsiella variicola*, 10가지 항생제에 90% 이상 내성을 나타낸 *Klebsiella oxytoca*, *Enterobacter sp*이 확인되었다.<sup>22)</sup>

가축분뇨, 호기성세균(퇴비로부터 분리) 67균주 중 1가지 이상의 항생제 내성을 보인 균주가 83.6%, 2가지 이상의 항생제 내성은 56.7%, 5가지 이상의 항생제 내성 17.9%, 9가지 이상의 항생제 내성은 1.5%

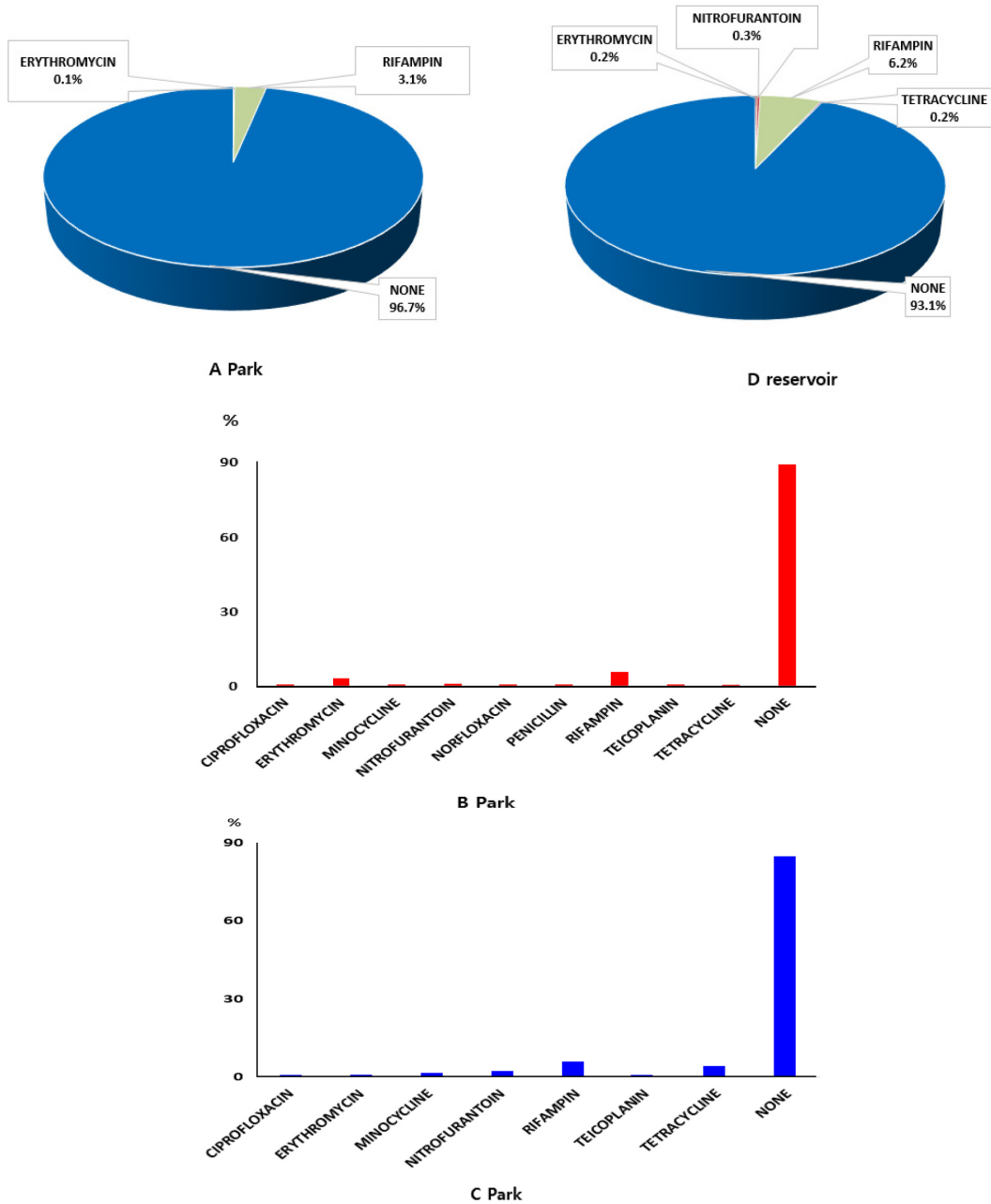


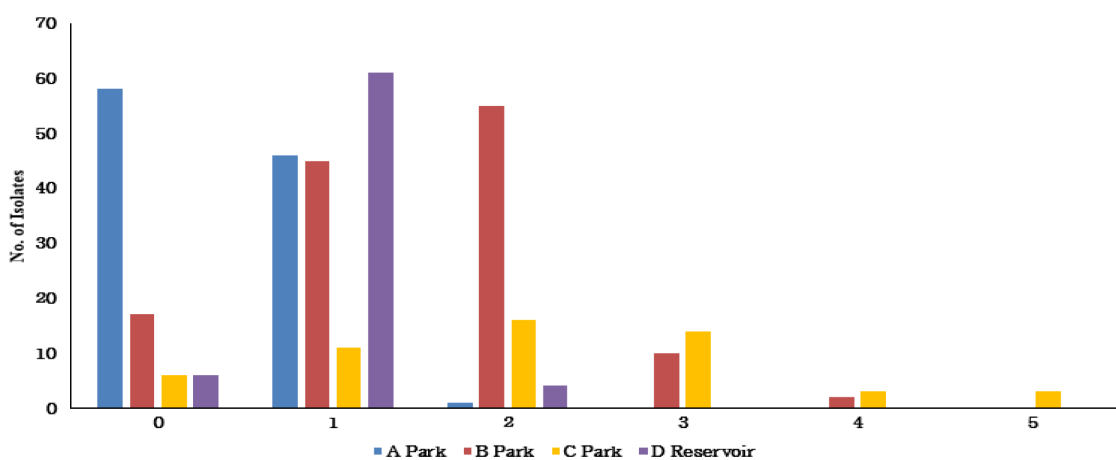
Fig. 4. The antibiotic resistance ratio of enterococci from recycling water floor fountains

로 나타났다.<sup>23)</sup> 제약회사의 폐수처리장과 가축분뇨 등은 항생제에 직접 노출된 경우 9가지 이상의 항생제 내성을 나타냈으며, 항생제에 간접 노출된 바닥분수 재이용수는 5가지 이상의 항생제 내성을 나타냈다.

경상북도보건환경연구원 Sohn 등은<sup>24)</sup> 먹는물에서 분리된 대장균군의 항균제 내성균속 및 종을 대상으로 염소소독제 감수성 결과 분리된 내성균 모두가 초기 염소농도 0.2 mg/L에서 30분~1시간 접촉시 모두 사멸되었으며, 초기염소농도 0.4 mg/L의 경우, 10분

**Table 1.** The results for antibiotic resistance testing in enterococci isolated from recycling water of floor fountains

Site	Number of Antibiotic Resistance						Total strain
	0	1	2	3	4	5	
A Park	58	46	1	0	0	0	105
B Park	17	45	55	10	2	0	129
C Park	6	11	16	14	3	3	53
D Reservoir	6	61	4	0	0	0	71
	Total						358

**Fig. 5.** The results for antibiotic resistance testing in enterococci isolated from recycling water of floor fountains

접촉시 완전히 사멸되는 것으로 보고되었다. 잔류염소농도가 0.2 mg/L 이상 유지하도록 소독시설을 자동시설로 개선하여 지속적인 소독관리가 이루어질 수 있도록 하는 것이 중요할 것이다. 바닥분수의 재이용수에서 분리 검출된 장구균의 항생제 다제 내성을 살펴본 결과, 관리기관의 청소, 소독과 더불어 이용자들의 청결이 매우 중요하였고, 재이용수에 대한 장구균의 검출을 최소화 할 수 있도록 재이용수와 수도물의 비율을 적정하게 조절할 수 있도록 하거나 용수교체 주기를 단축추진 하도록 개선되어야 할 것이다.

#### IV. 결 론

본 연구는 공원에 설치된 바닥분수시설 3개소와 저수지 1개소를 대상으로 재이용수의 미생물 수질특성을 평가하고 분리 검출된 장구균의 항생제 내성을 확인하고, 개선방안을 제시하고자 한다.

1. 바닥분수 재이용수 물이 위로 뿜어져 나오면서

이용자들이 마실 수 있어 먹는물 수질기준 항목인 일반세균 검사결과 4지점의 바닥분수 재이용수에서의 기준 초과율이 68%로 나타났다. 재이용수와 수도물을 일정비율로 주입하거나 매일 교체하는 방식으로 개선되어야 할 것이다. 잔류염소농도가 0.2 mg/L 이상 유지하기 위해 소독시설을 자동시설로 개선하여 지속적인 소독관리가 이루어질 수 있도록 하는 것이 중요할 것이다.

2. 4지점의 바닥분수 재이용수에서 분리 검출된 장구균 중 *E. faecalis*, *E. faecium* 가장 높은 빈도로 검출되었으며, 장알균 중에서부분 감염을 일으키는 균종이다. 반코마이신 내성 유전자 확인 결과 *VanA*, *VanB* 검출되지 않았다. 반코마이신 내성 장알균은 손을 통한 직접 접촉에 의해 발생됨으로 이용자들이 청결한 상태를 유지할 수 있도록 손소독제의 비치 필요하다.

3. 장구균의 항생제 내성률을 살펴보면 주로 Fluoroquinolones계의 Rifampin에 가장 높은 항생제

**Table 2.** Characterization of antibiotic multi-resistant enterococci strains isolated from recycle water in floor fountain

Strain	Site	Number of Antibiotic Resistance						Total strain
		0	1	2	3	4	5	
<i>E. faecalis</i>	A Park	58	44	0	0	0	0	102
	B Park	1	31	4	1	0	0	37
	C Park	1	8	5	1	0	0	15
	D Reservoir	3	59	2	0	0	0	64
<i>E. faecium</i>	A Park	0	2	0	0	0	0	2
	B Park	3	10	45	8	2	0	68
	C Park	3	3	11	13	3	3	36
	D Reservoir	1	2	2	0	0	0	5
<i>E. durans</i>	A Park	0	0	1	0	0	0	1
	B Park	0	0	4	1	0	0	5
	C Park	1	0	0	0	0	0	1
<i>E. mundtii</i>	B Park	12	1	0	0	0	0	13
	C Park	1	0	0	0	0	0	1
	D Reservoir	1	0	0	0	0	0	1
<i>E. hirae</i>	B Park	1	2	2	0	0	0	5
	C Park	1	0	0	0	0	0	1
<i>E. thailandicus</i>	B Park	0	1	0	0	0	0	1
Total							358	

내성률을 나타냈으며, 4지점 바닥분수 재이용수에서 장구균의 한 가지 이상의 항생제 내성률이 75.7%, 2종 이상의 항생제 다제 내성을 보인 균주는 전체 균주의 30.2%이었고, 5가지의 항생제에 대한 내성을 나타냈다.

4. 환경 분야 전반에 장구균 등의 항생제 다제 내성을 조사하여 항생제 남용과 분야별 항생제 저감 방안을 마련해야 할 것이고, 환경 분야 항생제 내성 정보 시스템을 구축하여 상시 모니터링 하는 방안을 제시한다.

### 감사의 글

이 논문은 2018년도 환경부 “환경분야 시험검사의 국제적 적합성 기반구축” 사업에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

### References

1. Water Environment Conservation Act Article 2

(Definitions), 2017.  
 2. Yoo YA, Kim MS, Kim KS, Park, SH, Jung SK. Antimicrobial resistance and implicated genes of *E. coli* isolated from commercial and cooked foods in Seoul, *J Fd Hyg Safety*. 2010; 25(3): 220-225.  
 3. Jung, D. H. and Lee, Y. H. Prevalence of fluoroquinolone-resistant river water isolates of *Escherichia coli*. *Journal of Natural Science, SWINS*, 2005; 17: 95-107.  
 4. Jindal, A., Kocherginskaya, S., Mehboob, A., Robert, M., Mackie, R. I., Raskin, L. and Zilles, J. L. Antimicrobial use and resistance in swine waste treatment systems. *Applied and Environmental Microbiology*. 2006; 72(12): 7813-7820.  
 5. Dzidic, S. and Bedekovic, V. Horizontal gene transfer emerging multidrug resistance in hospital bacteria. *Acta Pharmacologica Sinica*, 2003; 24(6): 519-526.  
 6. Lee, K. S. Distribution of antibiotics or heavy metal resistant bacteria and requery requery of multi-drug resistance in Kum river area. *Korean Journal of Environmental Biology*. 1993; 11(2): 131-144.  
 7. Coleman, M. E., Hope, B. K., Claycamp, H. G. and Cohen, J. T. Microbial risk assessment scenarios,



- causality, and uncertainty. *Microbe*, 2007; 2(1): 13-17.
8. Oh HK, Park JH. Characteristic of antibiotic resistant bacteria in urban sewage and river. *Environ Eng Res*. 2009; Original paper: 232-239.
  9. Song, J.H. Current status and future strategies of antimicrobial resistance in Korea. *Kor: J. Med.* 2009; 77: 143-151.
  10. Hyangkyun Oh, Joonhong Park, Characteristics of Antibiotic Resistant Bacteria in Urban Sewage and River. *Environmental Engineering Research*, 2009; 232-239.
  11. Leclercq R, Derlot E, Duval J, Courvalin P. Plasmid-mediated resistance to vancomycin and teicoplanin in *Enterococcus faecium*. *N Engl J Med*, 1988; 319: 157-61.
  12. Uttley AH, Collins CH, Naidoo J, George RC. Vancomycin-resistant enterococci. *Lancet*, 1988; 1: 57-8.
  13. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Nosocomial enterococci resistant to vancomycin United States, 1989-1993. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep* 1993; 42: 597-9.
  14. Murray BE, The life and times of the Enterococcus. *Clin Microbiol Rev*. 1990; 3: 46-65.
  15. U.S. Environmental Protection Agency, National Primary Drinking Water regulations. Ground Water Rule, *Federal Register*. 2006; 71(216): 65574-65660.
  16. Ministry of the Environment, microbial water quality guidelines for marine and freshwater recreational area, New Zealand, 2003.
  17. World Health Organization. Global antimicrobial resistance surveillance system: manual for early implementation. Geneva: World Health Organization, 2015.
  18. Ryu S. The new Korean action plan for containment of antimicrobial resistance. *J Glob Antimicrob Resist* 2017; 8: 70-73.
  19. Maarit, N., Mervi S, and Seppo, N, Antibiotic resistance among different species of fecal coliforms isolated from water samples. *Applied and Environmental Microbiology*, 1980; 45(1): 79-83.
  20. Moubareck, C., Bourgeois, N., Courvalin, P., and Doucet Populaire, F. Multiple antibiotic resistance gene transfer from animal to human enterococci in the digestive tract of gnotobiotic mice, *Applied and Environmental Microbiology*, 2003; 47(9): 2993-2996.
  21. Yoon TH, Lee H, Lee SJ, Yeo IH, Eom SW. Detection of enterococci and their Vancomycin Resistance in Drinking Spring-Water. *Korean Society of Environmental Engineers*. 2010; 79-985.
  22. Kim JG, Kim YJ. Study on Antibiotic Resistant Enterobacteria in Pharmaceutical Effluent. *J Environ Health Sci*. 2016; 42(1): 34-40.
  23. Kwon HK, Lee JH, Kim JG. A Study on the Distribution of Antibiotic Resistant Bacteria in Domesticated Animal Feces. *J Environ Health Sci*, 2012; 38(2): 142-150
  24. C. K. Sohn, C. W. Lee, T. B. Kim, S. G. Park, C. J. Jeon, C. I. Lee, J. Y. Park and W. Huh. Antimicrobial Agent and Chlorine Susceptibility of *E. coli* Group Isolated from Natural Drinking Water in Northern Gyeongbuk Area. The report of Gyeongsangbukdo Government Public Institute of Health & Environment. 2007; 20.

#### <저자정보>

김연희(연구관), 송형명(연구사), 최영섭(연구사), 이윤국(연구사), 박진환(연구사), 김선정(연구사), 김하람(연구사), 강유미(공무직), 배석진(연구관), 조영관(연구관)