

물놀이형 수경시설의 수질과 항생제 내성 대장균 분포에 관한 연구

윤상훈[†] · 김선경 · 김난희 · 위환 · 이세행 · 조광운 · 김동수 · 조영관

광주광역시 보건환경연구원

Distribution of Antibiotic Resistant *Escherichia coli* and Water Quality in Waterscape Facilities

Sang-Hoon Yoon[†], Seon-Gyeong Kim, Nan-Hee Kim, Whan Wi, Se-Hang Lee,
Gwang-Woon Jo, Dong-Su Kim, and Young-Gwan Cho

Public Health and Environment Institute of Gwangju

ABSTRACT

Objective: This study was performed in order to investigate the distribution of antibiotic resistant *E. coli* and water quality in waterscape facilities.

Methods: Nine waterscape facilities were selected and classified into three types: ground, wall and general fountain. The items analyzed in this study were pH, turbidity, KMnO₄ consumption, total colony, total coliforms, fecal coliforms and *E. coli*. Additionally, an antibiotic resistance test on *E. coli* was performed.

Results: There were no sampling sites that exceeded the permitted limits of water quality, but the concentration of pollutants was high at the beginning operation in June. Moreover, concentration of turbidity, KMnO₄ consumption and total colony were higher in ground fountains than in wall and general fountains. Five species of antibiotic resistant *E. coli* were detected from three sampling sites.

Conclusions: The waterscape facilities were significantly contaminated with water microorganisms, especially total colony, total coliforms and fecal coliforms. Disinfection and filtration systems to remove pollutants should be installed for safe waterscape facilities.

Keywords: Waterscape facilities, antibiotic resistant *E. coli*, fountain, disinfection

I. 서 론

생활수준이 높아지고 주5일 근무가 정착되면서 가족과 함께하는 시간이 늘어나고 있다. 도시에서는 휴식공간에 대한 시민들의 요구가 증가하면서 나무와 더불어 물을 이용한 수(水)공간에 대한 관심도 증가하고 있다. 그 대표적인 예가 물놀이형 수경시설로서 수돗물, 하천수, 지하수 등을 인위적으로 이용하여 실내 또는 야외에 설치하는 분수, 연못, 폭포, 벽천, 계류 등의 시설물 중 일반인에게 개방되어 이용

자의 신체와 접촉하여 물놀이를 하는 시설을 말한다.¹⁾ 수경시설은 인공적인 도시 환경에서 경관미를 향상시키고 도시민들에게 물을 접하는 경험의 기회를 제공한다는 측면에서 그 가치가 높게 평가되고 있으며 다양한 공간에 여러 유형이 도입되고 있다. 여러 지방자치단체들과 민간 기업에 의해 설치운영되는 수경시설의 수가 1,396곳에 이르는 것으로 보고된 바 있으며, 물놀이형 수경시설 중 바닥분수와 계류시설은 각각 32%, 12%를 차지한다.²⁾

이처럼 여러 곳에 설치된 수경시설은 점차 어린이

[†]Corresponding author: Health and Environment Institute of Gwangju, Gwangju, 502-243, Korea, Tel: +82-62-613-7605, Fax: +82-62-613-7619, E-mail: enoughface@korea.kr

Received: 13 June 2014, Revised: 23 June 2014, Accepted: 25 June 2014

들의 물놀이터로 이용됨에 따라 수질에 대한 관리 및 어린이들의 오염된 물에 대한 노출 문제가 대두되고 있다. 이러한 요구에 맞춰 환경부에서는 2010년 8월에 「물놀이형 수경시설 수질관리지침」을 제정하여 국가나 지방자치단체가 운영하는 수경시설에 대해 수질검사를 실시토록 하고 있다. 환경부 지침에 따르면 대장균, pH, 탁도에 대해서 수질기준을 설정하고, 레지오넬라균은 대장균 기준 초과시설에 대해, 질산성질소 및 과망간산칼륨소비량은 수돗물을 원수로 사용하지 않는 시설에 대해 모니터링 항목으로 설정하였다. 그럼에도 불구하고, 2011년 7월 조사된 바에 의하면, 서울시내 어린이공원 바닥분수의 41%가 지침상의 수질기준을 초과하고, 이용객에 대한 안내와 지도마저 아직 미흡한 실정이다.³⁾ 환경부에서도 2012년 물놀이형 수경시설 수질관리 실태 조사를 실시한 결과 지자체에서 설치가동시설 691개 중 122개(17.6%)가 수질검사 미실시, 검사 횟수 부족 등 운영관리가 부실하고 42개소(6.4%)가 수질기준을 초과하였다고 발표하였다. 이 중 대장균이 초과한 시설은 35개소로 83.3%에 해당하였다.

일반적으로 대장균(*Escherichia coli*)은 사람이나 동물의 장관 내는 물론 자연계에도 널리 분포하고 있으며, 대부분 병원성이 없는 것으로 알려져 있다. 하지만 설사 및 급성 위장염을 일으키는 일부 특이 혈청형 병원성대장균은 독성기전에 따라 다양한 성질을 지니고 있기도 한다.⁴⁾ 환경 중 대장균은 환경 변화에 안정하여 지표미생물로의 기본 조건을 충족시키며, 오염원에 대한 특이성을 가지고 있어 수질을 평가하는데 널리 이용되어 왔다.⁵⁾ 또한 대부분의 국가에서는 대장균에 대한 법적기준을 설정하고 있고, 우리나라에서도 하천호소 및 지하수 등 수계에서 이에 대한 수질기준이 마련되어 있다.⁶⁾

병원성 대장균을 포함한 세균에 의한 감염질환과 질병치료를 위해 화학적인 치료제인 항생제(Antibiotics)를 사용하고 있다. 그러나 항생제의 사용은 세균들이 다양한 경로를 통해 항생제와 접하는 기회가 많아지게 되면서 항생제 내성균의 출현이라는 필연적인 결과를 가져왔다.⁷⁾ 의료산업축산업농업양식업 등지에서 발생하는 폐수와 가정에서 발생하는 하수 중의 항생제가 하폐수처리과정 중 거의 분해되지 않고 자연계로 배출되면서 두 가지 이상의 항생제에 대해 내성을 갖는 다제 항생제 내성균

(Multiple-antibiotic resistant bacteria)이 출현하게 되었다.⁸⁾ 이러한 항생제 내성 안전관리를 위해서는 과학적이고 체계적인 조사에 근거한 전체적인 실태 파악이 선행되어야 하며, 제도적이고 광범위한 항생제 내성균 감시 시스템을 확립할 필요성이 있다. 이러한 이유로 미국은 1996년에 National Antimicrobial Resistance Monitoring System (NARMS) 구축을 통한 인간과 동물의 장내 세균에 대하여 17종 항생제 감수성의 변화를 조사하였으며, 일본은 1999년부터 동물 유래 식품매개성 병원세균 및 지표세균에 대해 전국적인 약제 내성 조사를 위해서 Japanese Veterinary Antimicrobial Resistance Monitoring System (JVARMs)을 구축하여 항생제 내성 모니터링을 실시하고 있다. 국내에서도 2003년부터 국가항생제내성안전관리사업을 실시하여 사람가축어류 및 환경 등으로부터 항생제 내성균 모니터링을 실시하고 있다.⁴⁾

먹는물에서 대장균균을 분리하여 항생제 내성 조사⁹⁾나 도시하수 및 주변 하천 중 항생제 내성 세균 연구⁸⁾ 등 지금까지 다양한 수계에서 대장균 및 항생제 내성에 대한 연구가 이루어져 왔으나 현재 급격히 늘어나고 있는 물놀이형 수경시설에 대한 항생제 내성 연구는 이루어지지 않고 있다. 본 연구에서는 가동 중인 물놀이형 수경시설의 수질을 파악하고자 「물놀이형 수경시설 수질관리지침」의 분석항목과 일반세균 등 수질미생물 항목을 추가 분석하였다. 또한 수중의 대장균을 분리하여 항생제 내성 여부 및 분포를 조사함으로써 물놀이형 수경시설 수질에 대한 기초 자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 연구대상 및 시료채취

본 연구 대상시설은 지자체에서 관리하는 물놀이형 수경시설 5개소, 민간에서 운영하는 시설 4개소 등 총 9개소를 선정하였다. 민간에서 운영하는 시설은 아파트 내에 설치된 수경시설을 제외하고 일반인들이 쉽게 찾을 수 있는 공원, 병원 등에 설치된 시설을 대상으로 하였다. 대상시설에 대한 자세한 사항은 Table 1에 표기하였다. 시료 채취는 2013년 6월부터 9월까지 총 6회 실시하였고 대상시설 가동 여부에 따라 2~6회 시료를 채취하였다.

Table 1. Information of waterscape facilities selected for this study

Site	Type	Raw water	Management	Time of operation (per day)
F1	Ground fountain	Tap water	Private agency	10:00~18:00
F2	Ground fountain	Tap water	Local government	12:00~18:00
F3	Ground fountain	Tap water	Local government	12:00~12:30 15:00~15:30
F4	Ground fountain	Tap water	Private agency	09:00~18:00 (only Weekend)
F5	Ground fountain	Tap water	Private agency	10:00~18:00
F6	Wall fountain	Ground water	Local government	unfixed
F7	Wall fountain	Tap water	Local government	12:00~14:00
F8	General fountain	Tap water	Local government	unfixed
F9	General fountain	Tap water	Private agency	unfixed

2. 분석항목 및 분석방법

분석항목은 「물놀이형 수경시설 수질관리 지침」 항목인 수소이온농도, 탁도, 대장균, 질산성질소, 과망간산칼륨소비량 뿐만 아니라 지침 외 항목으로 (중은)일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군을 분석하였다. 대장균, 총대장균군, 분원성대장균군은 수질오염공정시험기준¹⁰⁾에 따라 정량 분석하였고 그 외 항목은 먹는물수질공정시험기준¹¹⁾에 따라 분석하였다. pH는 현장에서 측정하였으며, 무균채수병을 이용하여 채취한 후 시료는 4°C 이하로 냉장 운반하였다.

대장균 항생제 내성 시험은 대장균 정량 시험에서 검출된 집락을 백금이를 이용하여 EMB(Eosin methylene blue agar, Oxoid, UK) 배지에 희선도말 후 35°C에서 24시간 배양을 2회 실시하여 단일균주를 분리하였다. 분리한 균주는 KIA(Kligler iron agar, Oxoid, UK) 사면배지에 접종 후 37°C에서 24시간 배양하여 성장을 확인하였다. *E. coli* 성장을 나타내는 균주에 대해 VITEK(Biomerieux France) GN card와 AST-n 169 card를 이용하여 생화학적 동정 및 항생제 내성 시험을 실시하였다.

병원성대장균(Pathogenic *E. coli*) 검출 시험은 상기 대장균 항생제 내성 시험에 쓰인 EMB 배지에서 광택이 나는 집락만을 멸균된 이쭉시개를 이용해서 TSA(Tritone soya agar, Oxoid, UK)에 사선으로 그은 후 37°C, 18~24시간 배양하였다. 이 때, TSA Petri dish 뒷면에 바둑판모양의 투명 스티커를 붙여서 사용하면 작업하기가 편하다. 배양된 집락을 각

각 다른 이쭉시개를 사용해서 멸균증류수 500 µl가 들어있는 하나의 Eppendorf tube에 모아서 멸균증류수에서 잘 풀리도록 Vortexing 한 후 끓는 물에서 5분간 중탕한 후 14,000 rpm에서 3분간 원심분리된 뒤 상층액을 Colony pooling PCR template DNA로 사용하였다. Primer Mixture 15 µl에 Pooling colony template DNA 5 µl를 넣은 후 PCR 조건(GeNet Bio 사 Pathogenic *E.coli* Detection Kits) UDG reaction 50°C 3분 1 cycle, Pre-denaturation 95°C 10분 Denaturation 95°C 30초 Annealing 60°C 20초 Extension 72°C 1분 35 cycles, Final Extension 5분 1cycle, store 12°C 로 실시하였다. PCR 반응이 끝난 생산물은 2% Agarose gel(EtBr)에서 30분간 전기영동하여 UV상에서 관찰하였다.

III. 결 과

1. 이화학적 수질

물놀이형 수경시설 수질관리지침 항목 중 질산성 질소, 과망간산칼륨소비량, 레지오넬라균은 모니터링 항목으로 원수가 지하수일 경우 분석하며 레지오넬라균은 대장균 결과가 기준을 초과한 시설에 한하여 분석한다. 본 연구에서는 원수가 지하수인 시설은 1개뿐이나 상수도를 사용하는 시설에 대해서도 질산성 질소와 과망간산칼륨소비량을 분석하였다. Table 2에서 각 지점별 이화학적 수질결과를 보여주고 있으며 각 분석항목의 평균과 표준편차, 최대값과 최소

Table 2. Concentration of water quality parameters on guideline items of waterscape facilities

Site	pH	Turbidity (NTU)	NO ₃ -N (mg/L)	KMnO ₄ consumption (mg/L)
	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD	Mean ± SD
F1	7.8 ± 0.1	0.44 ± 0.23	1.3 ± 0.0	1.1 ± 0.9
F2	7.8 ± 0.4	2.68 ± 1.09	1.2 ± 0.5	3.5 ± 3.4
F3	7.2 ± 0.2	1.89 ± 0.46	1.7 ± 0.2	3.7 ± 0.5
F4	7.3 ± 0.1	3.23 ± 0.17	1.7 ± 0.1	6.4 ± 0.8
F5	7.6 ± 0.1	2.29 ± 0.98	1.6 ± 0.3	1.2 ± 1.3
F6	7.0 ± 0.2	0.19 ± 0.17	1.9 ± 0.1	0.5 ± 0.3
F7	7.6 ± 0.2	0.46 ± 0.17	1.2 ± 0.1	1.5 ± 1.3
F8	7.5 ± 0.4	0.51 ± 0.34	1.2 ± 0.1	1.0 ± 0.5
F9	7.7 ± 0.2	1.47 ± 1.37	1.2 ± 0.2	1.2 ± 0.9
Average	7.5	1.44	1.5	2.4
Maximum	8.3	3.93	2.0	8.1
Minimum	6.8	0.02	0.6	0.3
Permitted limit ¹⁾	5.8~8.6	4below	-	-

Note. means the standard for drinking water

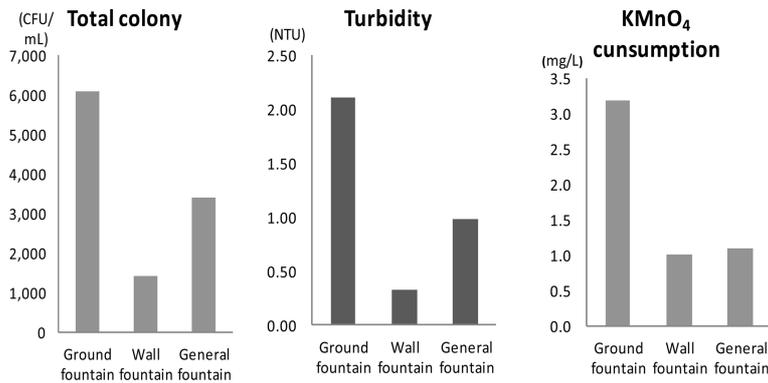


Fig. 1. Results of water quality parameters on three types of waterscape facilities.

값을 나타내었다. F1부터 F5까지는 바닥분수, F6과 F7은 벽천분수, 나머지 두 개는 일반분수이다.

수소이온농도(pH)는 6.8~8.3의 범위로 평균 7.5이고 탁도는 평균 1.44 NTU, 범위는 0.02~3.93 NTU였다. 질산성질소 검출 범위는 0.6~2.0 mg/L, 평균 1.5 mg/L로 시설별로 큰 변화가 없었다. 과망간산칼륨소비량은 모니터링 항목으로 기준은 없으나 0.3~8.1 mg/L 범위로 평균 2.4 mg/L를 나타내었다.

2. 미생물 항목

대장균을 포함한 미생물 항목 분석결과를 Table

3에 나타내었다. 일반세균은 평균 4,500 CFU/mL로 110~14,000 CFU/mL의 범위를 나타내었다. 일반세균 최소값과 최소 평균값을 보인 F6 지점은 원수가 지하수인 벽천분수이었고 가장 높은 평균값을 보인 F4지점과 최대값을 보인 F5지점은 바닥분수이었다. 총대장균군 전체 평균은 4,400 군수/100 mL이고 최소값인 100 군수/100 mL를 보인 지점은 바닥분수인 F1, 최대값인 39,000 군수/100 mL를 나타낸 지점은 일반분수인 F8지점이었다. 분원성대장균군은 평균 18 군수/100mL 이었고 최대값을 보인 F5 지점에서는 조사기간 내내

Table 3. Concentrations of water quality parameters on microorganism items of waterscape facilities

Site	Total colony (CFU ¹⁾ /mL)		Total coliforms (number/100 mL)		Fecal coliforms (number/100 mL)		<i>E. coli</i> (number/100 mL)	
	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range	Mean±SD	Range
F1	2,600±1,400	1,500~4,400	640±670	100~1,500	16±1	0~62	0±1	0~1
F2	8,600±5,500	550~12,000	3,400±2,400	1,200~5,800	18±31	0~40	0	0
F3	2,200±860	1,300~3,000	1,500±1,500	500~3,300	8±18	0~21	2±2	0~3
F4	9,800±3,200	7,500~12,000	15,000±700	14,000~15,000	0±11	0~1	0	0
F5	7,500±6,100	2,000~14,000	6,600±7,500	2,500~20,000	73±1	8~210	6±6	1~13
F6	490± 620	110~1,400	1,100±670	140~2,200	9±36	0~15	0	0
F7	2,400±2,700	540~5,500	1,200±1,200	140~2,500	14±7	0~15	0	0
F8	3,400±3,000	600~7,800	8,000±17,000	120~39,000	15±25	0~40	2±1	1~3
F9	3,300±4,400	320~12,000	2,600±3,200	320~8,700	11±15	0~50	0	0
Average	4,500		4,400		18		1	
Maximum	14,000		39,000		210		13	
Minimum	110		100		0		0	

Note. ¹⁾, Colony Forming Unit

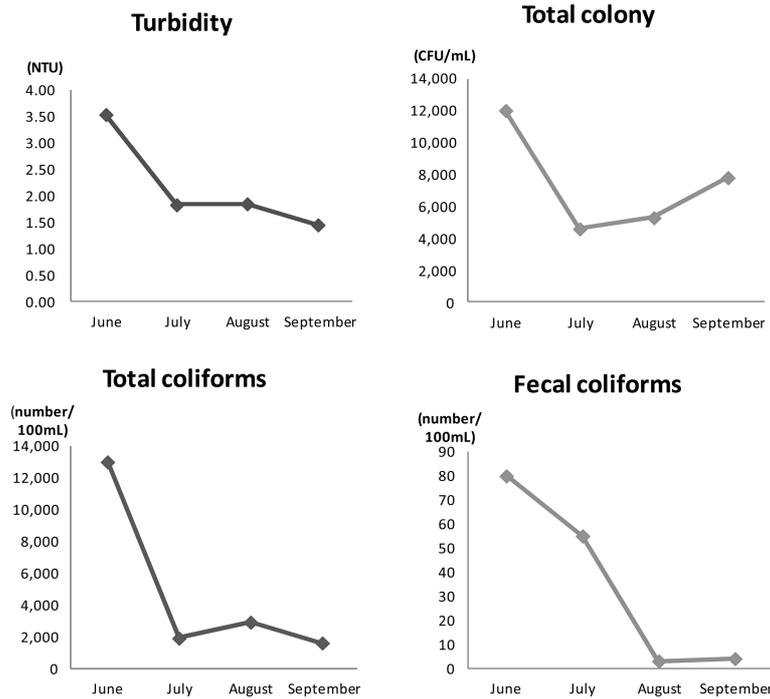


Fig. 2. Monthly trend of mean concentration of water quality parameters on waterscape facilities.

분원성대장균군이 검출되었다. 대장균(*E. coli*)이 검출된 지점은 4지점으로 검출 결과는 최대 13 개체 수/100 mL 였다.

3. 물놀이형 수경시설 종류별 수질

Fig. 1에서는 물놀이형 수경시설 종류별 일반세균, 탁도, 과망간산칼륨소비량의 평균농도를 보여주고

Table 4. Results of antibiotic resistant test on *E. coli* isolated from waterscape facilities

Site	<i>E. coli</i> isolated (number)	Antibiotic resistant <i>E. coli</i> (number)	Antibiotics
F1	-	-	-
F2	-	-	-
F3	3	1	• Ampicillin and Ampicillin/Sulbactam
F4	-	-	-
F5	5	1	• Ampicillin
F6	-	-	-
F7	-	-	-
F8	5	3	• Cefalotin • Tetracycline • Tetracycline and • Tetracycline/sulfamethoxazole
F9	-	-	-
Total	13	5	• Ampicillin • Ampicillin/Sulbactam • Cefalotin • Tetracycline • Tetracycline/ • sulfamethoxazole

있다. 일반세균 항목에서 바닥분수 평균은 6,100 CFU/mL, 벽천분수 1,400 CFU/mL, 일반분수 3,400 CFU/mL로 바닥분수 농도가 일반분수 2배, 벽천분수에 비해 약 4배 높았다. 탁도 평균 농도에서도 바닥분수 2.11 NTU, 벽천분수 0.32 NTU, 일반분수 0.99 NTU 로 바닥분수가 벽천분수에 비해 약 7배 높았다. 과망간산칼륨소비량 결과 역시 바닥분수 3.2 mg/L, 벽천분수 1.0 mg/L, 일반분수 1.1 mg/L로 바닥분수에서 약 3배 높은 결과를 보였다.

4. 월별 바닥분수의 수질

Fig. 2는 월별 바닥분수에서 탁도와 미생물 항목 등 4가지 항목의 평균 농도를 보여주고 있다. 탁도는 가동초기인 6월 평균농도가 3.54 NTU로 최저인 9월 1.45 NTU에 비해 약 2.5배 높았다. 미생물 항목을 살펴보면 일반세균 6월 평균농도는 12,000 CFU/mL로 최저인 7월 4,600 CFU/mL의 약 3배, 총대장균군 6월 평균농도는 13,000 균수/100mL로 최저인 9월 1,600 균수/100mL의 약 8배, 분원성대장균군 6

월 평균농도 80 균수/100mL로 최저인 8월 3 균수/100mL의 약 27배 높이 검출되었다.

5. 대장균(*E. coli*) 항생제 내성 시험

대장균은 기준인 200개체수/100 mL을 초과한 시설은 없었지만 3지점에서 13개체수/100 mL가 검출되었다. F3와 F5지점은 바닥분수이고 F8지점은 일반분수로 앞서 총대장균군 최대농도가 검출된 곳이다. F5지점 역시 일반세균과 분원성대장균군이 최대로 검출된 곳이었다. 분리된 13균주에 대해 병원성 대장균(Pathogenic *E. coli*) 존재 여부 및 항생제 내성 시험을 실시하였다. 병원성 유전자를 지닌 대장균은 검출되지 않았지만 항생제에 내성을 가진 대장균이 5균주가 검출되었고 이를 Table 4에 나타내었다. 2개 이상의 항생제 내성 가진 대장균도 2균주 검출되었으며 특히 F8 지점 대장균들은 서로 다른 3개의 항생제에 내성을 보였다. 4균주에서 검출된 항생제는 Ampicillin과 Tetracycline 계열이었다.

IV. 고 찰

여름철에만 가동되는 물놀이형 수경시설에 대해 이화학적 항목과 미생물 항목을 통한 수질 특성을 알아보고 더 나은 관리방법을 찾자 바닥분수 5개소, 벽천분수 2개소, 일반분수 2개소를 대상으로 연구를 진행하였다.

본 연구에서는 「물놀이형 수경시설 수질관리지침」 기준을 초과한 항목은 없었으나 일부 시설에서 기준에 근접한 수치의 결과를 보였다. 최근 연구에서 어린이들의 물놀이 시설 행동 양식 분석 결과를 참조하면, 어린이들은 물놀이 시설에서 감독요원에 의한 지도유무와 상관없이 엉덩이를 물 뿜는 곳에 대고 놀며, 약 절반 정도가 물놀이 용수를 입으로 받아 마시는 행위를 한다고 보고하고 있다.¹²⁾ 이에 본 연구결과를 먹는물수질기준과 비교해서 보면 대부분의 시설에서 어린이들이 음용해서는 안 되는 물로 나타났다. 현행 「물놀이형 수경시설 수질관리지침」 기준은 이러한 어린이들의 행동 양식을 참고하지 않고 설정되어 수질기준에 대한 재설정과 유지관리를 위한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

탁도(Turbidity)는 점토, 미사(silt), 콜로이드 물질 및 미생물 등의 미세 입자들로 인해 발생하며 빛의

흡수와 산란에 영향을 미친다. 최대 3.93 NTU 검출되어 기준인 4 NTU에 가까웠으나 먹는물수질기준인 1 NTU를 4배정도 초과한 결과였다. 특히 바닥분수 5곳 중 4곳에서 탁도는 1 NTU를 초과하고 있었다. 시설별 탁도의 평균 농도에서도 바닥분수는 벽천분수에 비해 약 7배 높은 농도를 보였다. 수중에 존재하는 유기물 양의 간접지표인 과망간산칼륨소비량은 물 속의 산화되기 쉬운 물질에 의해 소비되는 과망간산칼륨의 양으로, 값이 높을 경우 냄새와 맛을 유발하고 수인성질병을 일으킬 가능성이 있다.¹³⁾ 과망간산칼륨소비량 결과는 0.3~8.1 mg/L 범위로 수경시설 기준은 없지만 먹는물수질기준인 10 mg/L 이내였다. 하지만 탁도와 유사하게 바닥분수에서 다른 시설 3배 정도의 높은 농도를 보여주었다. 바닥분수는 물 순환 구조상 대기강하물질, 주변 도로의 퇴적물, 화단의 토양 등이 유입되어 축적될 가능성이 높고 특히 어린이들의 물놀이가 이루어지기 때문에 어린이들로부터 유출되는 배설물의 영향이 큰 것으로 사료된다.

질산성질소는 0.6~2.0 mg/L, 평균 1.5 mg/L로 모든 지점에서 큰 차이가 없이 낮은 농도를 보였다. 이는 질산성질소 유발 물질의 유입이 적고 그에 따른 미생물의 분해가 적었기 때문이다. 먹는물수질기준인 10 mg/L에는 이내로 검출되었으나 질산성질소는 영유아에게 청색증을 일으킬 수 있는 물질인 만큼 모니터링 항목에서 기준을 적용하는 항목으로 확대할 필요가 있다고 생각된다.

물놀이형 수경시설 중 바닥분수는 물놀이를 하는 상당수의 어린이들이 직접 또는 간접적으로 수경시설 물을 음용할 수 있기 때문에 먹는물수질기준의 미생물 항목을 분석하여 그 오염정도를 파악하였다. 일반세균(Total colony)은 호기성, 통성 혐기성 등 중속영양세균으로 인간이나 온혈동물의 분변 오염과 관계없이 자연적으로 물 속에 존재하는 세균을 평가하는데 사용된다.¹⁴⁾ 먹는물에서 일반세균이 검출되어도 인체에는 큰 영향이 없는 것으로 알려져 있으며, 멸균 및 소독 잔류성 판단의 척도로 이용되고 있다. 하지만 먹는물수질기준인 100 CFU/mL를 초과한 경우 병원균이 존재할 가능성이 있으므로 어린이, 노약자 등 면역성이 약한 사람들은 주의해야 한다. 연구대상 시설 모두에서 일반세균이 검출되었으며 특히 F5지점은 먹는물 수질기준의 140배인 14,000

CFU/mL가 검출되기도 하였다. 이러한 결과는 원수를 받아 일정기간 소독 없이 순환시켜 사용하고 더욱이 여름철 기온이 30°C를 넘어설 때에도 수경시설을 가동하므로 세균증식이 활발했던 것으로 사료된다.¹⁵⁾

총대장균군(Total coliforms)은 대장균(*E. coli*)과 분원성대장균군(Fecal coliforms) 그리고 기타세균을 총칭하는 세균으로 가장 큰 의미를 갖는다. 총대장균군은 그람음성, 막대형 세균이며 무아포성 간균으로 36~37°C에서 유당을 분해하여 산과 가스를 생성하는 균을 말한다. 총대장균군 자체는 인체에 유해하지 않지만, 인간 또는 온혈동물 등 분변오염의 지표로서 소화기계 병원균에 의한 오염가능성을 추정할 수 있다.^{16,17)} 분원성대장균군은 44~45°C에서 유당을 발효할 수 있는 세균으로, *Escherichia* 속과 그보다 낮은 범위로 존재하는 *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Citrobacter* 등으로 구성되어 있다. 이 세균들 중 대장균만이 분원성이며, 인간이나 다른 포유동물, 조류의 분변에 많은 수가 존재하고, 분변으로 오염되지 않은 물이나 토양에서는 거의 발견되지 않는다.¹⁴⁾

먹는물수질기준에서는 불검출/100 mL이어야 하나 연구대상 모든 시설에서 총대장균군과 분원성대장균군이 높은 농도로 검출되었다. 그러나 총대장균군의 경우 일반세균과는 달리 바닥분수에서 특별히 높은 농도를 보이고 있지 않았다. 오히려 최대값인 39,000 균수/100 mL를 나타낸 F8지점은 도심공원 내 위치한 일반분수로 일정량의 물이 대기 중에 노출되어 있는 구조로 되어 있고 간헐적으로 노즐을 통해 물을 순환하는 시설이었다. 일종의 소규모 인공호수와 같은 구조로 되어 있는 F8지점은 정제된 물에 햇빛, 기온의 영향과 조류 배설물과 같은 오염물질의 유입으로 인해 총대장균군이 활발히 증식했던 것으로 사료된다. 분원성대장균군은 최대 210 균수/100 mL 까지 검출되어 분변으로 인한 오염이 확실시 되었다. 최대 농도를 보인 시설은 F5지점으로 도심 대형마트 앞에 설치된 바닥분수로서 한여름 많은 수의 어린이들이 물놀이를 즐기고 있으며 주말이 아닌 평일에도 계속해서 가동을 하고 있었다. 어린이들의 방문 주위에서 기인한 것으로 보이는 분원성대장균군이 여과 및 소독장치 없이 계속해서 물을 순환시킴으로써 사멸되지 않은 것으로 보인다. 따라서 수경시설의 원수 교체 및 소독 등을 실시하고, 안내판

등을 통한 건강상 위해성 및 수경시설 사용 등에 관한 사항을 홍보하는 것이 필요하다.

탁도와 미생물 항목인 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군의 월별 농도를 살펴보면 가동 초기인 6월 높았고 시간이 갈수록 낮아지는 경향을 보이고 있다. 이는 수경시설 가동초기 주변 및 저수조 청소 없이 원수를 받아 곧바로 가동하기 때문인 것으로 생각된다. 물놀이형 수경시설의 가동시기가 여름철인 것을 감안하면 나머지 기간동안 각종 먼지, 황사, 쓰레기 등이 수경시설 주변에 쌓이고 이러한 오염물질이 여과 없이 바로 저수조로 유입되면서 가동초기 농도가 높아지고, 가동을 시작한 시설은 원수를 교체하므로 이에 따라 오염농도는 시간이 갈수록 낮아진 것이라 사료된다. 한 예로 가동은 하지 않았지만 우물 형태의 바닥분수는 각종 먼지, 토양입자 및 쓰레기가 분수 바닥에 쌓여 있는 것을 확인할 수 있었다. 매년 물놀이형 수경시설 관리 주체는 가동 전 시설점검 및 청소를 실시하고 가동 초기의 원수는 버리고 재급수하여 사용하여야 할 것이다.

하천·호소와 같은 자연수계가 아니므로 항생제 내성 대장균이 검출되지 않을 것이라는 예상과는 달리 항생제 내성 대장균이 검출되었고 그 비율도 38.5%를 보였다. 배 등(2004)의 하천에서 대장균의 항생제 내성 결과는 85%의 높은 내성률을 보이는 것에 비해 본 연구는 낮은 결과를 보이고 있지만, 원수가 상수도이고 주기적인 원수 교체, 이용자가 어린이들이라는 점을 감안할 때 결코 낮은 비율이라고 간과해서는 안 될 것으로 생각된다. 특이한 점은 일반분수인 F8지점에서 분리된 5종의 대장균 중 3종이 각기 다른 항생제에 내성을 보인 것이다. 이용객 수 및 오염물질 유입경로에 대한 조사가 부족했고 분리된 대장균이 적어 추가적인 조사가 필요할 것으로 사료된다. 2개 이상의 항생제에 내성을 보인 균주가 2균주 검출되었는데 내성 항생제는 Ampicillin과 Tetracycline 계열이었다. 항생제 내성균의 출현은 수경시설을 이용하는 어린이들로부터 유래되었을 것으로 추정된다. Ampicillin은 사람의 치료를 위한 목적으로 사용되는 항생제 중에서 다른 항생제에 비해 더 빈번히 사용되고¹⁸⁾ Tetracycline도 1940년대에 개발되어 지난 몇 십년동안 꾸준히 사용된 항생제이며 그만큼 항생제 내성률도 증가한다고 보고되고 있어⁸⁾ 이를 뒷받침해 준다. 오 등(2009)의 연구에서 항생

제에 대한 미생물의 내성률은 수온이 높아지면 상승하는 경향이 있다고 보고하고 있는데 물놀이형 수경시설의 경우 한 여름에만 가동하고 있어 수온이 높고 그에 따라 항생제 내성균에 대한 주의도 요구된다 하겠다.

V. 결 론

최근 급격히 늘어나고 있는 물놀이형 수경시설은 관련 지침과 수질에 관한 기준이 제정되어 있으나 소독시설이 없고 주기적인 원수 교체 등에 관한 강제 조항이 없어 미생물 오염에 대한 우려가 있어 왔다. 또한 항생제 남용으로 인한 수계의 항생제 내성균의 출현이 물놀이형 수경시설과도 관계가 있는지 알아보기 위해 수질미생물 및 항생제 내성 대장균의 분포에 대해 조사하였다.

환경부의 「물놀이형 수경시설 수질관리 지침」 항목을 초과한 시설은 없었으나 탁도, 과망간산칼륨소비량 등 일부 항목은 먹는물수질기준보다 높은 농도를 보였다. 특히 바닥분수에서는 다른 수경시설에 비해 일반세균은 4배, 탁도 7배, 과망간산칼륨소비량 3배 정도 높은 결과를 보였다. 바닥분수 구조상 주변의 토양입자, 노면 퇴적물, 강하먼지 등이 저수조로 휩쓸려 들어갔기 때문이며 이러한 오염물질들을 제거할 수 있는 설비를 설치하여야 할 것이다. 또한 총대장균군과 분원성대장균군의 농도가 높은 것은 물놀이하는 어린이들로부터 기인하였으며 이러한 세균들이 제거되지 않고 계속해서 순환하면서 증식된 것으로 판단된다.

물놀이형 수경시설 가동초기에 오염물질의 농도가 높은 것은 시설 내·외부에 축적된 각종 오염물질들이 제거되지 않고 저수조로 유입되었기 때문이고 이를 방지하기 위해선 시설가동 전 내·외부 청소와 토양입자 및 쓰레기 등을 제거하기 위한 여과장치를 설치해야 할 것이다.

물놀이형 수경시설은 먹는물 수질기준이 적용되지 않지만 주 이용자인 어린이들이 직·간접적으로 수경시설의 물을 마시고 있어 이에 대한 조치가 필요할 것으로 생각된다. 총대장균군, 분원성대장균군 등 먹는물에서는 검출되어서는 안 될 미생물이 검출되었고 항생제 내성 대장균 존재 여부를 조사한 결과 검출률은 낮지만 내성을 가진 대장균도 검출되었

다. 또한 물놀이형 수경시설의 주 이용자가 면역력이 약한 어린이들이라는 점과 항생제에 대한 미생물의 내성률은 수온과 비례한다는 점을 감안하여 소독 시설을 설치하고 원수 순환방식에 대한 전반적인 고찰을 통해 유해한 세균들로부터 안전한 수질 상태를 유지하여야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 2013년도 환경부 “환경분야 시험검사의 국제적 적합성 기반구축” 사업 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사 드립니다.

References

1. Ministry of Environment Korea. Guideline of Water Quality in Waterscape Facilities. Gwacheon: Ministry of Environment Korea Press; 2010.
2. Ministry of Environment Korea. Study on Measures for Management of Water Quality in Waterscape Facilities. Gwacheon: Ministry of Environment Korea Press; 2010.
3. Zo YG. Risk assessment of *Escherichia coli* infection from use of interactive waterscape facilities. *J Environ Health Sci.* 2012; 38(1): 73-81.
4. Jeong KO, Heo JH, Yun IR, Choi YJ, Kim JS. Surveillance of antimicrobial resistance ratio of *E. coli* and *Enterococcus spp.* isolated from fecal and carcasses of pigs in slaughterhouse. *Korean J Vet Serv.* 2010; 33(3): 241-248.
5. Lee GY, Kim KH, Kwon MJ, Kwon HK, Kim YH, Lee JH. A study of antimicrobial resistance in *Escherichia coli* and the distribution of indicator microorganism in Asan city. *J Environ Health Sci.* 2010; 36(3): 229-235.
6. Choi CM, Yun SG, Kim MK, Kim JH, Ko BG, Park SJ, et al. Correlation between ground water quality parameters and total coliforms in livestock farm. *Kor J Environ Agric.* 2009; 28(1): 86-91.
7. 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.
8. Oh HK, Park JH. Characteristic of antibiotic resistant bacteria in urban sewage and river. *Environ Eng Res.* 2009; Original paper: 232-239.
9. Ko SH, Son SY, Chun JM, Choi EH, Lee SW, Lee TU, et al. Antibiotic-resistance of coliform bacteria isolated from drinking water. *Rep Inst Health Environ.* 2010; 21: 20-29.
10. Ministry of Environment Korea. Standard Methods of Wter Quality Pllution. Gwacheon: Ministry of Environment Korea Press; 2010.
11. Ministry of Environment Korea. Standard Methods of Drinking Water Quality. Gwacheon: Ministry of Environment Korea Press; 2010.
12. Nett RJ, Toblin R, Sheehan A, Huang WT, ZBaughman A, Carter K. Nonhygienic behavior, knowledge, and attitudes among interactive splash park visitors. *J Environ Health.* 2010; 73(4): 8-14.
13. Lee YG, Yoon SH, Jo GW, Wi W, Kim NH, Kang YJ, et al. Water quality of non-designated spring in Gwangju. *J Kor Soc Environ Analys.* 2013; 16(2): 152-162.
14. WHO. Guidelines for Drinking Water Quality, Ministry of Environment Korea.
15. Lee YG, Park OH, An SS, Kim YH, Kim JM, Bae SJ, et al. Quality of spring water influenced by rainfall in Mudeung mountain. *J Kor Soc Environ Analys.* 2011; 14(3): 146-157.
16. Jeung HM. Jeung WH, Park SJ, Cho IH, Lim YT. Enhancement of microbial water quality by establishing new *Echerichia coli* and coliforms guidelines in drinking water regulation. *J Kor Soc Wat Qual.* 2001: 569-571.
17. Park SK, Um SW. Explanation for Standard Methods of Sanitary Microbial. Seoul: Mi-Rae Mun-Wha Press; 1998. p.60-70.
18. Bae MS, Choi GG, Park SH, Choi MS, Lee GH. Annual population variation and identification of antibiotic bacteria in the lower lake Geumgang. *Kor J Ecol.* 2004; 27(5): 283-289.