한국환경보건학회지, 제46권 제6호(2020)
J Environ Health Sci. 2020; 46(6): 710-718

pISSN: 1738-4087 eISSN: 2233-8616
https://doi.org/10.5668/JEHS.2020.46.6.710

원 저 | Original articles

경기도내 물놀이형 수경시설 중 미생물 분포 조사 연구

정아용† · 박명기 · 김윤성 · 이창희 · 이정희 · 이혜연 · 김영숙
경기도보건환경연구원 면역진단팀

Study on Distribution of Microbes in Waterscape Facilities in Gyeonggi-do

Ah-Yong Jeong†, Myoung-Ki Park, Yun-Sung Kim, Chang-Hee Lee, Jung-Hee Lee, Hye-Yeoun Lee, and Young-Suk Kim
Department of Immunodiagnosis, Gyeonggi-province Institute of Health and Environment

ABSTRACT

Objectives: We analyzed water in waterscape facilities to investigate contamination levels of water-borne pathogens and four test items (pH, turbidity, residual chlorine, and *Escherichia coli*) at facilities including play fountains, splash parks, and artificial streams from June to October in Suwon City and in the whole of Gyeonggi-do.

Methods: A total of 62 waterscape facility samples were collected from 36 sites and tested for pathogenic *Escherichia coli* and water-borne viruses that cause hand-foot-and-mouth disease, eye disease, and acute enteritis.

Results: None of the water-borne pathogens were detected in waterscape facility samples collected from across Gyeonggi-do that were for pre-inspection for facility management. However, the results of samples from Suwon collected in hot weather and during the school vacation period showed five total inconsistencies in turbidity (four cases) and *Escherichia coli* (one case). Three out of the four inconsistent samples in turbidity were from the same facility which operated a sand filtration system due to its locational factors close to mountains.

Conclusion: We suggest that the waterscape facilities in Gyeonggi-do are managed properly in the respect of microbial contamination and water quality.

Key words: Hand-foot-and-mouth disease, water-borne viruses, waterscape facility

I. 서 론

여름철이면 대부분 경관용으로 이용되던 분수가 어린이 물놀이 및 이용자들의 휴식공간인 물놀이형 수경시설로 바뀌어 이용이 증가함에 따라 물놀이형 수경시설의 관심과 관리의 중요성이 확대되고 있다.

물놀이형 수경시설이란 수돗물, 지하수 등을 인위적으로 저장 및 순환하여 이용하는 분수, 연못, 폭포, 실개천 등의 인공 시설물 중 일반인에게 개방되어 이용자의 신체와 직접 접촉하여 물놀이를 하도록 설치하는 시설이다.[1)]

수경시설은 인공적인 도시 환경에 경관미를 향상시키고 이용자들에게 물을 접하는 놀이의 기회를 제공함으로써 이용자들의 만족도가 높다는 평가를 받고 있으며 다양한 공간에 여러 유형의 시설들이 도입되고 있다.[2)]

†**Corresponding author:** Department of Immunodiagnosis, Gyeonggi-province Institute of Health and Environment, Suwon-si 16381, Korea, Tel: +82-31-250-5006, Fax: +82-31-250-5008, E-mail: kiakia1004@gg.go.kr
Received: 9 November 2020, Revised: 4 December 2020, Accepted: 6 December 2020

경기도 수자원본부 물놀이형 수경시설 현황자료에 따르면 2019년 7월말 기준 경기도내 설치 운영되는 수경시설이 399곳으로, 그중 공공운영시설에서 379곳, 민간운영시설에서 20곳이 운영되고 있다. 시설물 유형은 분수가 224곳(56.1%), 조합놀이대 83곳(20.8%), 계류 14곳(3.5%), 벽천 6곳(1.5%)이다.

이처럼 다양한 형태의 수경시설이 점차 어린이들의 물놀이터로 이용되면서 수질관리 및 오염된 물에 노출시 파생되는 질병 문제가 대두되고 있다. 이러한 요구에 맞춰 환경부에서는 물놀이형 수경시설 운영 관리 가이드라인을 마련하고 pH, 탁도, 대장균, 유리잔류염소의 수질기준을 설정하였다. 국내 뿐만 아니라 국외의 미국, 유럽, 캐나다, 호주 등의 국가들에서는 아직까지 물놀이형 수경시설만을 위한 수질 기준을 별도로 마련하고 있지 않지만 수경시설의 수질 관리 중요성이 대두됨에 따라 물놀이형 수경시설을 수영장의 한 형태로 간주하여 수질기준을 마련하려는 사례가 늘어나고 있다.

수질기준 중 미생물 항목인 대장균은 사람이나 동물의 장내뿐만 아니라 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 있다. 또한, 환경 변화에 안정하여 지표미생물로의 기본 조건을 충족시키며, 오염원에 대한 특이성을 가지고 있어 수질을 평가하는데 널리 이용되어 왔다.[3-5]

해마다 증가하는 물놀이형 수경시설에 대한 관리기준이 설정되고 수질검사가 지속적으로 이루어지고 있음에도 불구하고, 물놀이를 하고 난 후 유아나 어린이들에게서 수족구, 눈병, 설사 및 장염 등 수계감염병이 종종 발생하고 있어 수경시설의 수인성바이러스가 문제시 되고 있다.

수인성바이러스(waterborne viruses)는 주로 지표수, 하수, 해수 등에 존재하며 물을 통해 감염되는 바이러스로, 사람 또는 동물의 장내에서 증식하고 분변과 함께 체외로 배출된다.[6,7] 수인성바이러스는 크게 *Picornaviridae* (polioviruses, enteroviruses, coxsackieviruses, hepatitis A virus, and echoviruses), *Adenoviridae* (adenoviruses), *Caliciviridae* (noroviruses, caliciviruses, astroviruses, and small round-structured viruses), 그리고 *Reoviridae* (reoviruses and rotaviruses)로 분류되며,[8] 다양한 질병을 유발한다. 또한, 이러한 바이러스는 주로 면역체계가 약한 어린이나 노약자들에게 치명적일 수 있으며,[9,10] 낮은 개체수가 인체에 감염되어도 심각한 급성 질병을 유발할 수 있으므로 위험성이 매우 높다고 보고되고 있다.[11]

그 중 enterovirus (엔테로바이러스)가 원인으로 발생하는 수족구는 보통 10세 미만의 어린이 그중에서도 5세 이하의 영유아에서 많이 발생하는 질병으로 주로 손, 발, 혀와 구강 점막 등에 수포가 발생하며 처음 2~3일 동안 발열 증상이 나타나고 잘 먹지 못한다. 이후 서서히 호전되기 시작하여 보통 7~10 내에 저절로 없어진다. 전파경로는 다양하며 직접 접촉이나 분변-경구 및 호흡기 경로를 통한 비말을 통해 사람 간 전파가 되거나 감염자의 호흡기 분비물, 수포안의 진물, 대변, 오염된 물이나 수영장에서의 음용으로도 전파가 가능하다.[12,13]

현재까지 수계에서의 바이러스 연구는 지하수의 norovirus (노로바이러스), hepatitis A virus (A형간염바이러스) 등 연구가 되고 있으나 급격히 늘어나고 있는 물놀이형 수경시설에 대한 다양한 수인성바이러스 연구는 미흡한 실정이다. 본 연구에서는 경기도내 수경 및 물놀이 시설의 병원미생물 및 수인성바이러스 오염실태를 파악하여 효과적인 소독법 및 사후관리 대책을 마련하고 안전한 물놀이 시설을 유지하는 기초자료로 활용하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 검체수집

본 연구의 시료는 2019년 6월부터 8월까지 채취하였다. 연구 대상 시설은 첫 번째, 물환경보전법 제61조 2(물놀이형 수경시설의 신고 및 관리)에 의거 시설 운영시기 등을 고려하여 최근 2년간 수질기준 초과시설, 시설규모가 일정 이상이며 이용자가 많고 조기 가동 중인 시설, 기 점검시 지적사항 미이행 시설 중심으로 선정된 고양시 등 14개 시군 31개 시설 37건이다. 이 시설 모두 운영 초기(이용자 이용 전)에 조사하였고, 계류시설은 안산의 1시설, 조합놀이대는 오산 1시설, 하남 1시설, 성남 3시설, 김포 1시설, 평택 1시설(조합놀이대 7시설) 나머지 바닥분수 29시설이다. 두 번째, 이용 중인 시설로 하절기의 특성을 고려하여 장마기간을 제외하고 기온이 높

은 7월부터 8월까지 어린이 이용자가 많은 방학기간에 13시에서 17시 사이로 수원시 5개 시설을 선별하여 5회 조사하였다. 최근 이용자수가 많은 조합놀이대 위주로 모두 수돗물을 이용하며 지자체에서 관리하는 시설을 선정하였다. 5개 시설 중 2개 시설은 오존소독을, 2개 시설은 염소소독을 실시하고 있었으며 1개 시설은 오존소독과 모래여과기가 설치된 시설이다(Table 1).

2. 분석항목 및 분석방법

분석항목은 물환경보전법의 수질검사 항목인 pH, 탁도, 유리잔류염소, 대장균과 수인성바이러스를 분석하였다.

2.1. pH, 탁도, 유리잔류염소, 대장균 분석

pH, 탁도, 유리잔류염소는 현장에서 측정하였으며, 다른 분석을 위해 무균채수병을 이용하여 1 L 이상 시료를 채취하여 4°C 이하로 냉장 운반하였다. 유리잔류염소는 오존으로 소독하는 시설은 측정하지 않았다.

대장균 검출 시험은 Colilert test kit (IDEXX, USA)를 이용한 대장균-효소이용정량법으로 실시하였다. 효소기질 시약과 시료 100 mL를 혼합하여 배양한 후, 형광이 확인되면 대장균 양성으로 판정하여 정량하였다.

병원성대장균(Pathogenic *E. Coli*) 검출 시험은 EMB 배지에서 광택이 나는 집락만을 TSA (Tritone soya agar, Oxoid, UK)에 사선으로 37°C, 18~24시간 배양하였다.

Table 1. Information of waterscape facilities selected for this study in Gyeonggi Province and Su-won city

Site	Location	Type	Site	Location	Type
S1	Goyang	Ground fountain	S19	Yongin	Ground fountain
S2		Ground fountain	S20		Ground fountain
S3		Ground fountain	S21		Ground fountain
S4	Paju	Ground fountain	S22		Ground fountain
S5		Combination fountain	S23	Icheon	Ground fountain
S6	Siheung	Ground fountain	S24	Hanam	Combination fountain
S7		Ground fountain	S25		Combination fountain
S8	Ansan	Moorage fountain	S26		Combination fountain
S9	Hwaseong	Ground fountain	S27	Seongnam	Ground fountain
S10		Ground fountain	S28		Ground fountain
S11		Ground fountain	S29		Combination fountain
S12		Ground fountain	S30	Bucheon	Ground fountain
S13		Ground fountain	S31		Ground fountain
S14	Suwon	Ground fountain	S32		Combination fountain
S15		Ground fountain	S33	Gimpo	Ground fountain
S16		Ground fountain	S34		Ground fountain
S17		Ground fountain	S35		Ground fountain
S18	Osan	Combination fountain	S36		Ground fountain
			S37	Pyeongtaek	Combination fountain

Site	Location	Type	Raw water	Management	Disinfection	Filter
SS1	Suwon	Combination fountain	Tab water	Local government	Ozone	Sand
SS2		Combination fountain	Tab water	Local government	Ozone	
SS3		Combination fountain	Tab water	Local government	Ozone	
SS4		Combination fountain	Tab water	Local government	Chlorination	
SS5		Combination fountain	Tab water	Local government	Chlorination	

2.2. 수인성바이러스 분석

2.2.1. 바이러스 농축

미생물 농축 장비인 InnovaPrep Concentrating Pipette (InnovaPrep, USA)을 사용하여 시료를 농축하였다. 검체 0.5~1 L를 30분에서 1시간 동안 ultra-filtration pore size tip을 이용하여 추출하고, PBS로 elution한 후 핵산을 추출하였다.[14)]

2.2.2. 핵산 추출

Maxwell RSC Viral Total Nucleic acid Purification kit (Promega, USA)를 사용하여 자동화 장비를 통해 핵산을 추출하였다.

검체 200 μL에 Lysis buffer 350 μL를 넣고 세포를 resuspension한 후 Proteinase K 35 μL를 넣고 5초간 voltexing하였다. 56°C에서 10분 동안 정치하고, 처리된 시료를 카트리지 1번에 분주하였다. 카트리지 8번에 RSC Plunger를 장착하고 카트리지 rack에 0.5 mL elution tube를 장착한 후 elution buffer 100 μL를 분주하였다. 장비 프로그램을 실행하여 핵산을 추출하고 유전자 분석을 위한 주형으로 사용하였다.

2.2.3. Real-time PCR을 이용한 바이러스 분석

추출한 RNA 5 μL를 수인성바이러스 절대정량 키트로 스크리닝하였다. Adenovirus, Astrovirus, Rotavirus, Sapovirus 진단키트(Kogen biotechnology, Korea), Norovirus 진단키트(Bioneer, Korea)에 RNA 5 μL를 각각 넣은 후 반응액이 완전히 섞이도록 하였다. 유전자 증폭을 위해 실시간 유전자 증폭기(7500 Fast Real Time PCR Instrument System; Applied Biosystems, USA)를 이용하여 Adenovirus, Astrovirus, Rotavirus, Sapovirus는 50°C에서 30분, 95°C에서 10분 처리 후 95°C 15초, 55°C 1분을 1회로 하여 40회 반응시키고 Norovirus는 45°C에서 30분, 95°C에서 10분 처리 후 95°C 15초, 56°C 1분을 1회로 하여 45회 반응시킨 후 결과를 확인하였다.

2.2.4. RT-PCR을 이용한 바이러스 분석

Enterovirus와 hepatitis A virus 유전자 분석을 위해서 RT-PCR 방법을 수행하였다. Enterovirus는 LiliF EV VP1 RT-PCR 진단키트(intron biotechnology, Korea)를 이용하여 cDNA 합성은 키트에 2 μL의 RNA와 DEPC-treated water를 18 μL 첨가하여 42°C에서 45분, 94°C에서 5분 반응시키고 94°C 30초, 55°C 30초, 72°C에서 40초 40회 반복하여 반응시키고 72°C에서 5분 반응시켰다. 이렇게 제조한 cDNA 1 μL를 첨가하여 final volume 20 μL가 되도록 하여 유전자를 증폭시켰다. PCR 조건은 95°C에서 5분, 95°C에서 30초 denaturation, 55°C에서 30초 annealing, 72°C에서 40초 elongation하며 40회 반복하여 반응시키고 72°C에서 5분 반응시켰다.

Hepatitis A virus는 One-step RT-PCR kit (SNC, Korea)를 사용하여 유전자 증폭을 수행하였다. 프라이머 염기서열은 HAV-1F: GCTCCTCTTTATCATGCTATGGAT와 HAV-1R: CAGGAAATGTCTCAGGTACTTTCT, HAV-2F: ATGTTACTACACAAGTTGGAGAT와 HAV-2R: GATCCTCAATTGTTGTGATAGCT이다.

2.2.5. 데이터 분석

Real-time PCR을 이용한 데이터 분석은 Applied Biosystems Real-time PCR System Detection Software version 1.4를 사용하였다. 또한, 통계분석은 Microsoft Excel을 사용하여 분석하였다.

III. 결 과

2019년 물놀이형 수경시설의 수질 및 병원미생물 오염실태를 파악하고자 경기도내 시설의 운영 초기와 이용자가 많은 기간을 비교하여 물놀이형 수경시설 수질관리지침 항목인 pH, 탁도, 유리잔류염소, 대장균 및 수인성바이러스 등을 분석하였고 수질기준은 Table 2와 3에 표기하였다.

Table 2는 조사대상 시설 운영 초기 시설별 수질 결과로 각 분석항목의 평균과 표준편차, 최대값과 최소값을 나타내었다. pH는 7.40~8.50의 범위로 평균 7.76이고 탁도는 평균 0.37 NTU, 범위는 0.06 NTU~1.32 NTU이었다. 유리잔류염소 검출 범위는 0.50~3.50 mg/L, 평균 1.61 mg/L이었다.

대장균은 37개의 시설 중 35개 시설은 검출되지 않았고 2개 시설인 S24 시설과 S36 시설에서 1개 체수/100 mL가 검출되었다. 대장균이 검출된 2개 시설은 모두 오존으로 소독하는 시설이었다.

또한, 수족구 및 장염 등을 유발하는 수인성바이

Table 2. Concentration of quality parameters on guideline items of waterscape facilities in Gyeonggi Province

Site	Location	pH	Turbidity (NTU)	Residual Chlorine (mg/L)	*E. coli* (number/100 mL)	Site	Location	pH	Turbidity (NTU)	Residual Chlorine (mg/L)	*E. coli* (number/100 mL)
S1	Goyang	7.70	0.31	1.44		S19	Yongin	7.60	0.11	0.80	
S2		7.80	0.37	1.20		S20		7.30	0.09	2.90	
S3	Paju	8.00	0.63	2.14		S21		7.60	0.14	0.61	
S4		8.10	0.08	1.96		S22		7.70	0.11	1.50	
S5	Siheung	7.80	1.32	3.00		S23	Icheon	6.50	0.06	2.70	
S6		8.10	0.23	1.40		S24	Hanam	7.80	0.58		1
S7		7.70	0.27	3.00		S25	Seongnam	7.40	0.26	0.50	
S8	Ansan	7.50	0.51	0.60		S26		7.50	0.11	0.90	
S9	Hwaseong	8.10	1.01	1.20		S27		7.80	0.15	0.48	
S10		7.70	0.27	2.90		S28	Bucheon	8.30	0.19	1.40	
S11		8.00	0.95	2.60		S29		8.00	0.10	0.50	
S12	Suwon	7.90	1.09	1.60		S30		7.50	0.29	2.20	
S13		7.90	0.83	0.80		S31	Gimpo	8.20	0.74	2.30	
S14		7.40	0.11	3.50		S32		7.90	0.76	2.00	
S15		8.10	0.50	1.20		S33		7.70	0.08	0.90	
S16		8.50	0.26	1.80		S34		7.70	0.14	1.00	
S17	Osan	8.20	0.43	1.80		S35		7.50	0.16	1.00	
S18		7.50	0.18	0.90		S36	Pyeongtaek	7.60	0.14		1
						S37		7.60	0.27		

Site	pH	Turbidity (NTU)	Residual Chlorine (mg/L)	*E. coli* (number/100 mL)
	Mean±SD*	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
Total	7.76±0.35	0.37±0.32	1.61±0.85	1.00±0.00
Maximum	8.50	1.32	3.50	1
Minimum	7.40	0.06	0.50	0
Permitted limit	5.8~8.6	4 NTU below	0.4~4.0	200 (number/100 mL) below

*mean±standard deviation

러스 7종 등 감염병 원인 미생물은 모두 검출되지 않았다.

Table 3은 7월부터 8월까지 하절기에 집중적으로 이용자가 많은 수원시의 분수대, 물놀이형 수경시설 5시설에 대해 각각 5회 채수한 수질검사 결과이다. pH는 7.11~8.11의 범위로 평균 7.48이고 탁도는 평균 2.69 NTU, 범위는 0.85~6.08 NTU이었다. 유리잔류염소 검출 범위는 0.43~3.23 mg/L, 평균 1.27 mg/L이었다. 수질항목 검사 결과 탁도 SS2 시설 1회, SS3 시설 3회 기준초과였고, 대장균은 SS3 시설 1회 기준초과였다. 병원성 대장균 및 수인성바이러스 7종 등 감염병 원인 미생물은 모두 검출되지 않았다.

IV. 고 찰

경기도내 물놀이형 수경시설의 운영 초기 수질항목 분석결과 4항목 모두 기준 이내의 값을 보여 경기도내 물놀이형 수경시설의 관리가 잘 이루어지고 있음을 나타낸다.

최근 연구에서 어린이들의 물놀이 시설 행동 양식 분석결과를 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.[15] 이와 관련하여 수경시설의 이화학적 수질분석

Table 3. Concentration of quality parameters on guideline items of waterscape facilities in Su-won

Site	pH	Turbidity (NTU)	Residual Chlorine (mg/L)	*E. coli* (number/100 mL)
	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
SS1	7.66±0.24	2.18±1.03		14.20±11.73
SS2	7.69±0.33	2.64±1.36		314.00±607.68
SS3	7.55±0.11	4.28±1.30		72.80±78.59
SS4	7.30±0.03	2.00±1.02	1.46±1.18	4.60±10.28
SS5	7.21±0.16	2.36±0.87	1.07±0.32	6.20±12.25
Average	7.48	2.69	1.27	82.36
Maximum	8.11	6.08	3.23	1,400
Minimum	7.11	0.85	0.43	0
Permitted limit	5.8~8.6	4 NTU below	0.4~4.0	200 (number/100 mL) below

Site	Time	pH	Turbidity (NTU)	Residual Chlorine (mg/L)	*E. coli* (number/100 mL)	Site	Time	pH	Turbidity (NTU)	Residual Chlorine (mg/L)	*E. coli* (number/100 mL)
SS1	1	7.39	3.20		25	SS4	1	7.31	3.65	0.43	23
	2	7.50	2.60		20		2	7.30	1.80	3.23	0
	3	7.94	0.98		23		3	7.35	1.62	1.12	0
	4	7.88	2.94		2		4	7.26	0.85	0.50	0
	5	7.58	1.17		1		5	7.28	2.10	2.04	0
SS2	1	7.57	4.94		79	SS5	1	7.34	3.64	1.01	28
	2	7.42	2.61		1,400		2	7.22	1.18	0.80	3
	3	7.98	1.63		10		3	7.40	2.35	1.62	0
	4	8.11	2.47		56		4	7.00	2.47	0.90	0
	5	7.39	1.56		25		5	7.11	2.16	1.00	0
SS3	1	7.54	6.08		180						
	2	7.40	3.18		130						
	3	7.53	2.84		42						
	4	7.55	4.56		0						
	5	7.72	4.76		12						

뿐만 아니라 먹는물 수질기준 항목의 미생물 항목 및 항생제 내성균 검사를 통하여 수경시설의 안전한 수질을 강조해왔다.[2] 하지만 여름철 물놀이 후 수족구, 눈병, 설사 및 장염 등 유행하는 질병의 직접적인 원인을 밝히기엔 부족하였고 정확한 원인규명을 위해 수인성바이러스 7종을 분석하였지만 모두 검출되지 않았다. 본 결과는 어린이들이 이용하기 전 결과이므로 물놀이 수경시설 특성상 어린이들로부터 유출되는 배설물의 영향이 큰 만큼 수질의 지속적인 관리가 요구된다.

하절기에 집중적으로 이용자가 많은 수원시의 물놀이형 수경시설의 분석결과를 보면 pH는 SS1~SS3 시설이 SS4~SS5 시설보다 다소 높았다. pH는 물의 산성, 염기성의 정도를 나타내는 지표로 살균이나 소독, 수질오염물질 제거율에 영향을 미치므로 반드시 고려하여야 할 필요가 있다. 염소를 계속 투입하게 되면 pH가 계속 상승하게 되는데 SS4~SS5 시설이 염소소독 시설이므로 SS1~SS3 시설보다 낮은 것으로 보아 pH의 관리가 잘 이루어지고 있는 것으로 보인다.

탁도는 점토, 미사, 콜로이드 물질 및 미생물 등의 미세입자들로 인해 발생하며 빛의 흡수와 산란에 영

향을 미치는 것으로 알려져 있다.[16] 탁도의 증가는 물놀이형 수경시설 구조상 주변의 토양입자 등의 오염물질이 저수조로 들어갔기 때문으로 보이며 오염물질들을 제거할 수 있는 설비가 필요한데 탁도 부적합 시설 중 3회 부적합인 SS3 시설은 산과 근접한 지형적 특성의 영향으로 모래 등 퇴적물 유입이 잦아 모래여과기가 설치되어 있었다.

대장균 수질기준인 200개체수/100 mL을 초과한 시설은 SS2 시설로 1,400개체수/100 mL로 기준을 7배를 초과하였다. 경기도내 운영 초기 시설에서는 1개체수/100 mL 시설이 2곳이었지만 이용자가 많은 시설을 대상으로 검사를 수행한 결과 SS1~SS2 2개 시설에서는 5회 모두 검출되었고, SS3 시설은 4회 검출되었다. SS1~SS3 시설 모두 오존소독을 하는 시설로 오존소독 특성상 잔류성이 없어 효과의 지속성이 없다는 점을 보여주는 결과로 보인다. 시설별로 5회 동안 기온을 비교한 결과 대장균이 초과된 시설이 있었던 2회차가 36.5°C로 최고온도를 기록했으며 수온도 34°C로 최고온도였다. 온도의 영향은 대부분의 물놀이형 수경시설이 더운 여름철 소독이 유지될 틈도 없이 순환하고 어린이들이 옷을 입고 얼굴이나 손, 발등을 담구고 물놀이를 하는 등의 이유로 세균 증식이 활발하게 진행된 것으로 보인다. 대장균이 다수 존재하는 경우에는 수계 감염증의 원인이 되는 병원균이 동시에 존재할 가능성이 있기 때문에 공중위생상 문제가 된다. 이러한 경우 수경시설의 가동 시 항시 주변청소를 하고 관리자의 정기적인 용수 교체, 소독, 수질검사와 더불어 이용자들의 주의와 협조가 필요한 것으로 판단된다.

대장균이 검출되지 않은 시설은 염소소독을 시행하는 시설로 SS4 시설은 4회, SS5 시설은 3회 대장균이 검출되지 않았다. 염소소독은 병원성 미생물을 경제적이고 간편한 소독 방법 중 하나로써 소독 효과는 염소농도가 높을수록, pH가 낮을수록, 온도가 높을수록, 반응시간이 길수록 살균력이 강해진다고 보고하고 있다.[17,18] 잔류염소 농도가 0.3 mg/L 이상일 때 1 mL중 10만개 정도의 대장균이 살균되고, 잔류염소 농도가 0.2 mg/L 이상일 때 5분후 100 mL중 일부는 생존하나, 10분 후에는 완전히 살균되며 잔류염소 농도가 0.1 mg/L 이상일 때 5분후 50 mL 중에서, 30분후 100 mL 중에서 생존하나 1시간 후에는 완전히 살균가능하다. 초기 염소소독제 투입 후 수중의 미생물과 반응하여 유리잔류염소가 감소하는데 소독제 투입 후 수질 기준 하한 농도인 0.4 mg/L 이하 감소시간은 바닥분수 약 1시간, 조합놀이대 약 40분이다. 간단한 방법으로 살균 효과를 볼 수 있으며 대부분의 미생물을 살균시키고 특히 수인성 병원균에 대한 살균력이 크며 잔류성이 있어 소독효과가 오래도록 지속되는 장점이 있다. 하지만 유기물과 염소가 반응하여 발암물질인 THMs (트리할로메탄)이 생성가능하고 염소 냄새 및 과잉 주입 시 이용자의 눈이나 피부에 자극을 줄 염려가 있으므로 주의해야 한다. 이러한 이유로 염소소독 대신 오존소독이 각광을 받고 있으며 오존 소독을 시행하는 시설이 늘고 있다. 오존은 잔류성이 없다는 큰 장점을 가지고 있으며 염소보다 수백배 빠른 살균력을 가지고 있다. 수중에 100,000개/mL의 대장균이 존재할 경우, 오존 0.96 mg/L에 약 5초간 접촉 시 100% 사멸율을 보인다. 또한 염소소독 시 생성가능한 트리할로메탄과 이취미를 생성하지 않으며 살균 이외 유기물질, 맛, 냄새물질 및 색도제거가 탁월하다. 하지만 잔류성이 없어 효과의 지속성이 없고 염소소독 시설에 비해 초기투자비용과 유지관리비용이 높은 단점이 있다[1]. 잔류성이 없어 염소소독 시설에 비해 오존소독 시설에서 대장균 검출이 많았으므로 이용자가 많아 수질 오염도가 높은 시기에는 염소소독 등 추가적인 소독이 필요하였다.

물놀이형 수경시설의 주 이용자는 면역력이 약한 어린이들로 상당수의 어린이들이 직접 또는 간접적으로 물을 음용할 확률이 높은 만큼 원수의 순환방식이나 소독시설을 설치시 pH, 온도, 시간 등과 소독력이 상관이 있다는 점을 고려하여 감염병 유발 미생물로부터 안전한 수질 상태를 유지하여야 할 것이다.

또한, 물놀이형 수경시설 운영 초기 시설과 이용자가 많은 시설의 연구 결과를 보아 탁도와 대장균 항목에서 차이가 나는 것은 이용자가 많은 시간과 시설에 따른 차이로 보이며 탁도 및 대장균 등 미생물 오염 예방을 위해 개인위생 점검 및 수경시설 이용 전 후 샤워 가능한 시설이 필요하였다.

본 연구는 이용자가 수경시설을 이용함으로써 여러 가지 원인으로 결과가 차이가 나는 것을 보여준다. 운영 초기 시설은 이용자가 이용하기 전에 측정한 시설로 수질기준을 초과하는 시설이 없었지만, 이

용 후의 시설은 조사 시 날씨, 기온, 이용자 수 등 상황이 다양하여 그에 따른 결과도 차이가 있다는 한계를 가지고 있다. 그러므로 지속적인 시설관리와 다양한 수질 연구를 통한 물놀이형 수경시설의 수질 기준을 제시할 필요가 있다.

V. 결 론

여름철에만 가동되는 물놀이형 수경시설은 이용자 대부분이 면역력이 약한 영유아로 시설에 대한 관리와 수질검사의 중요성이 강조되고 있다. 수경시설을 이용함으로써 나타나는 질병에 대해 직접적인 원인을 파악하는 것이 중요하지만 이용자에 따른 시설의 차이로 결과의 변이가 크다는 제한점이 있다. 또한, 수인성 바이러스는 물시료에서 낮은 농도로 존재하며 소량의 시료에서 분석하는 방법이 미흡하고 분석 효율이 낮아 연구가 미비한 실정이다.

본 연구에서는 물놀이형 수경시설에 대해 이화학적 항목과 병원성미생물 항목을 통한 수질오염도에 대한 더 효과적인 관리방법을 찾고자 2019년 6월부터 8월까지 경기도내 운영 초기 시설 및 하절기에 집중적으로 이용자가 많은 수원시의 분수대, 물놀이형 수경시설 등을 대상으로 수질검사를 수행하였다.

연구 결과 2019년 경기도내 운영 초기 시설에서 수질기준 항목 및 수인성바이러스를 초과한 항목이 없는 것으로 보아 물놀이형 수경시설의 관리가 잘 이루어지고 있음을 보여주었다.

하절기(7~8월)에 집중적으로 이용자가 많은 수원시의 분수대, 물놀이형 수경시설 5시설에 대해 5회 분석한 결과, 탁도가 2개 시설에서 각각 1회, 3회 기준초과, 대장균은 1개 시설에서 1회 기준초과, 감염병 원인 미생물은 모두 기준초과였다. 탁도가 3회 기준초과인 SS3 시설은 산과 가까이 있는 지형적 특성의 영향으로 산에서 모래유입이 잦아 모래여과기가 설치된 지역이었다. 대장균 검출 시설은 1,400개체수/100 mL로 기준인 200개체수/100 mL을 7배를 초과하였는데 이용자가 많고 기온이 가장 높은 날이었다.

본 연구는 경기도내 수경 및 물놀이 시설의 병원성미생물 분포를 조사한 것으로 감염병 발생에 대한 불안감 해소 및 안전한 물놀이시설의 관리방안을 제시하는데 있어 기초자료로 활용될 것이라 생각된다.

References

1. ME (Ministry of Environment), Guidelines for operation and management of waterscape facilities for 2018. 2018; p.2-3.
2. Yoon SH, Kim SG, Kim NH, Wi W, Lee SH, Jo GW, et al. Distribution of antibiotic resistant Escherichia coli and water quality in waterscape facilities. *J. Environ. Health. Sci*. 2014; 40: 225-233.
3. 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.
4. Cao Y, Griffith JF, Dorevitch S, Weisberg SB. Effectiveness of qPCR per-mutations, internal controls and dilution as means for minimizing the impact of inhibition while measuring Enterococcus in environmental waters. *J. Appl. Microbiol.* 2012; 113: 66-75.
5. Jo YG. Risk assessment of Escherichia coli infection from use of interactive waterscape facilities. *J. Environ. Health. Sci.* 2012; 38: 73-81.
6. Monteiro S, Santos R. Enzymatic and viability RT-qPCR assays for evaluation of enterovirus, hepatitis A virus and norovirus inactivation: Implications for public health risk assessment. *J. Appl. Microbiol.* 2017; 124: 965-976.
7. Brinkman NE, Hafflera TD, Cashdollara JL, Rhodes ER. Evaluation of methods using celite to concentrate norovirus, adenovirus and enterovirus from wastewater. *J. Virol. Methods.* 2013; 193: 140-146.
8. Fout GS, Martinson BC, Moyer MW, Dahling DR. A multiplex reversetranscription-PCR method for detection of human enteric viruses in groundwater. *Appl. Environ. Microbiol.* 2003*;* 69: 3158-3164.
9. Karim MR, Rhodes ER, Brinkman N, Wymer L, Fout GS. New electropositive filter for concentrating enteroviruses and noroviruses from large volumes of water. *Appl. Environ. Microbiol.* 2009; 75: 2393-2399.
10. Okoh AI, Sibanda T, Gusha SS. Inadequately treated wastewater as a source of human enteric viruses in the environment. *Int. J. Environ. Res. Public Health.* 2010; 7(6): 2620-2637.
11. Flannery J, Keaveney S, Rajko-Nenow P, O'Flaherty V, Dore W. Concentration of norovirus during wastewater treatment and its impact on oyster contamination. *Appl. Environ. Microbiol.* 2012; 78: 3400-3406.
12. Abzug MJ. Presenation, diagnosis, and manage-

ment of enterovirus infections in neonates. *Paediatr Drugs*. 2004; 6(1): 1-10.
13. Hill WF, Jr, Akin EW, Benton WH, Mayhew CJ, Metcalf TG. Recovery of poliovirus from turbid estuarine water on microporous filters by the use of celite. *Appl. Microbiol.* 1974; 27, 506-512.
14. Rhodes ER, Hamilton DW, See MJ, Wymer L. Evaluation of hollow-fiber ultrafiltration primary concentration of pathogens and secondary concentration of viruses from water. *J. Virol. Methods.* 2011; 176: 38-45.
15. 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.
16. Lee YG, Park OH, An SS, Kim YH, Kim M, Bae SJ, et al. Quality of spring water influenced by rainfall in Mudeung mountain. *J. Kor. Soc. Environ. Analys.* 2011; 14(3): 146-157.
17. WHO. Chlorine in drinking-water background document for develoment of WHO guidelines for drinking-water quality. 2003; p1-11.
18. Dong Y, Kim J, Lewis GD. Evaluation of methodology for detection of human adenoviruses in wastewater, drinking water, stream water and recreational waters. *J. Appl. Microbiol.* 2010; 108: 800-809.

<저자정보>

정아용(보건연구사), 박명기(보건연구관),
김윤성(보건연구사), 이창희(보건연구사),
이정희(보건연구사), 이혜연(보건연구사),
김영숙(보건연구관)