



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공학석사 학위논문

울산지역 물놀이형 수경시설의
위생학적 안전성 조사
study of hygienic safety of
play type waterscape
facilities in Ulsan

울산대학교 산업대학원

환경공학전공

이 지 나

울산지역 물놀이형 수경시설의
위생학적 안전성 조사

지도교수 이 병 호

이 논문을 공학석사학위 논문으로 제출함

2018년 7월

울산대학교 산업대학원

환경공학전공

이 지 나

이지나의 공학석사학위 논문을 인준함

심사위원 이 병 호 (인)

심사위원 오 석 영 (인)

심사위원 김 종 호 (인)

울산대학교 산업대학원

2018년 7월

국문요약

물놀이형 수경시설이란 수돗물, 지하수 등을 인위적으로 저장 및 순환하여 이용하는 분수, 연못, 폭포, 실개천 등의 인공시설물 중 일반인에게 개방되어 이용자의 신체와 직접 접촉하여 물놀이를 하도록 설치하는 시설을 말한다. 물놀이형 수경시설은 접근성이 좋고 물놀이 안전사고의 위험이 적어 전국적으로 그 수가 빠르게 증가하고 있는 실정이다. 이에, 2016년 물놀이형 수경시설의 수질기준으로 대장균, pH, 탁도, 유리잔류염소(염소소독시만 적용) 항목을 적용하였으나, 주 이용자인 어린이들이 물놀이 용수를 입으로 받아 마시는 행위를 한다는 점과 그들의 면역력이 성인에 비해 미약하다는 점을 고려한다면 개정된 법률기준이 실제로 유효한지 아닌지에 대한 검토의 여지가 있다. 따라서 본 연구에서는 물놀이형 수경시설의 위생학적 안전성을 확인하기 위해 수경시설의 법적 기준항목 외에도 먹는물 항목을 추가 검사하여 울산지역 물놀이형 수경시설의 수질실태 파악 및 수경시설 이용자의 위생학적 안전성 확보를 위한 방안을 제시하고자 한다.

○ 수질조사 결과

- 먹는물 수질기준의 이화학적 12항목 중 유리잔류염소는 대부분의 시설에서 기준(0.4~4.0 mg/L)에 못미쳤으며, 탁도, NH₃-N, KMnO₄ 소비량은 수질기준을 일부 초과한 것으로 나타났다.
- 위생학적 분석항목의 경우 일반세균은 전체 90회 조사 중 71회 먹는물 기준을 초과하였으며, 살모넬라, 시겔라를 제외한 미생물 7항목(Total colony/Fecal Coliforms/E.Coli/Fecal Streptococcus/Enterococcus/Clostridium perfringens/Pseudomonas aeruginosa)은 대부분의 지점에서 먹는물 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다.
- 시설의 시간적 수질변화는 누적이용객이 많아질수록 pH, Turbidity, T-N, NO₂-N, NH₃-N, KMnO₄ 소비량, TOC가 증가하였으며, 시설규모가 크고 이용객이 많은 시간대에 더 큰 증가폭을 보였다.
- 유리잔류염소 농도(0.4~4.0mg/L)가 잘 유지되는 시설의 경우 모든 미생물 항목(Total colony 제외)이 검출되지 않았으며, 기준을 만족하지 못하는 시설지점은 대부분의 미생물항목이 검출되었다.
- 시설종류별 조합물놀이대와 바닥분수를 구분하여 수질을 비교한 결과 조합물놀이대가 바닥분수보다 유기물오염의 지표인 Turbidity, NO₂-N, NH₃-N, KMnO₄ 소비량, TOC 항목에서 평균값이 약간 높았으며, 미생물항목에서는 최소 2배~최대 42배까지 높게 나타났다.

○ 수경시설의 효율적인 관리방안

- 염소투입량은 자테스트 결과 일반세균의 경우 잔류염소 0.6 mg/L 이상일 때 먹는물 기준 100 CFU/mL를 만족하였으며, 접촉시간이 증가할수록 감소하였다. 총대장균군은 잔류염소 0.2 mg/L 이상일 때 99.9%이상 감소, 0.4 mg/L 이상에서는 검출되지 않았다.
- 수질오염 저감 관리방법으로 이용객들의 동선을 조정하여 시설 입구 → 간이샤워기 → 바닥분수를 지나 수경시설에 입장하도록 하여 시설을 이용하기 전에 간이샤워를 통해 유입 오염원을 저감시킴으로써 수질관리 및 위생적 안전성을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

< 결론 >

1. 본 연구를 통해 물놀이형 수경시설의 위생학적 안전성 확보를 위해서는 수중의 유리잔류염소 농도를 유지하는 것이 최선임을 알았다.
 - 따라서 현재 염소 소독시에만 적용하는 유리잔류염소 기준을 오존소독 등 다른 소독방법에도 확대 적용이 필요하며, 하나의 소독방법보다는 오존소독+염소소독 등과 같이 2가지 이상의 소독방법을 병행하는 것을 권장한다.
 - 유리잔류염소 최소농도 기준은 외국의 경우 평균 수온 30℃에서 1.5 ~ 3.0 mg/L이며, 수중 병원성 미생물을 사멸시키기 충분한 염소량은 최소 1.0 mg/L(APSP(2009))이므로 국내의 유리잔류염소 최소농도 기준을 0.4 mg/L에서 1.0 mg/L로 법령을 개정하는 것이 필요하다고 판단된다.
2. 현재 물놀이형 수경시설의 미생물 기준은 대장균 항목만 지정되어 있으나 물놀이형 수경시설의 특성상 분원성 미생물에 의한 오염 확률이 높은 것으로 나타나 수인성 위장질환 발병의 지표인 장구균을 물놀이형 수경시설기준에 추가하여 관리할 필요성이 있다고 판단된다.

다시말해 물놀이형 수경시설의 위생학적 안전성 확보를 위해서는 유리잔류염소 기준의 적용 확대와 최소 유지농도의 강화 및 장구균의 검사항목 추가가 필요하며, 더불어 시설의 주기적인 지도 점검이 필요할 것으로 판단된다.

목 차

국문요약	i
목차	iii
List of Tables	v
List of Figures	vi
I. 서론	1
II. 이론적 배경	2
III. 연구내용 및 방법	4
1. 연구대상 및 기간	4
2. 시료채취 및 전처리	4
3. 분석방법	6
IV. 결과 및 고찰	9
1. 울산시내 수경시설의 현황 및 관리실태	9
2. 시설별 수질특성	11
가. 이화학적 수질특성	11
나. 미생물학적 수질특성	18
3. 시간적 오염분포	24
가. 이화학적 수질특성	24
나. 미생물학적 수질특성	29
4. 시설종류별 오염분포	34
5. 시설 소독방법별 시간적 오염분포	36
6. 오염물질 상관관계(통계)	38

7. 수경시설의 효율적인 관리방안	40
가. 염소투입량	40
나. 위험요소 관리방법	42
다. 안내문 게시	44
라. 법령개선	45
1) 적정 유리잔류염소 기준	45
2) 오존소독시설 기준검토	46
3) 장구균 적용검토	48
V. 결론	49
참고문헌	51
영문요약	52

List of Tables

<Table 1> Guideline items of waterscape facilities	3
<Table 2> Permitted limit of waterscape facilities	3
<Table 3> Information of waterscape facilities selected for this study	5
<Table 4> Analytic equipments and methods	8
<Table 5> Concentrations of water quality parameters of waterscape facilities	14
<Table 6> Concentrations of water quality parameters on microorganisms	21
<Table 7> Concentrations of water quality parameters of waterscape facilities	25
<Table 8> Concentrations of water quality parameters on microorganisms	30
<Table 9> Concentrations of water quality parameters of waterscape facilities	34
<Table 10> Disinfection method of each facility	36
<Table 11> Correlation coefficients(R) of waterscape facilities	39
<Table 12> Test results of jar test	41
<Table 13> Residual chlorine concentration by time period	41
<Table 14> Country free residual chlorine minimum concentration standard of swimming pool water	45
<Table 15> Disinfection method of each facility	46
<Table 16> Result by disinfection method of facilities	47

List of Figures

[Fig 1] Sampling sites of waterscape facilities in ulsan city	5
[Fig 2] View of waterscape facilities	10
[Fig 3] Results of water quality parameters of waterscape facilities	16
[Fig 4] Characteristics of total colonies	18
[Fig 5] Results of water quality parameters on microorganisms	22
[Fig 6] Results of water quality parameters on microorganisms	23
[Fig 7] Results of water quality parameters of waterscape facilities	27
[Fig 8] Characteristics of total colonies	31
[Fig 9] Results of water quality parameters on microorganisms	32
[Fig 10] Results of water quality parameters on microorganisms	33
[Fig 11] Results of water quality parameters of waterscape facilities	35
[Fig 12] Results of water quality parameters of waterscape facilities	37
[Fig 13] Change of microorganism by residual chlorination injection concentration	41
[Fig 14] Water circulation system	42
[Fig 15] Location map of waterscape facilities	43
[Fig 16] Simplicity shower bath	43
[Fig 17] Examples of notices	44
[Fig 18] Result by disinfection method of facilities	47

1. 서론

사람들은 물을 보면서 편안함, 휴식, 친근감 등을 느끼고 이러한 느낌을 물이라는 요소를 통해서 연출함으로써 사람들에게 많은 감흥을 안겨준다. 또한 다양한 위락 체험을 가능하게 만드는 것을 수경시설이라 할 수 있는데 최근 수경시설은 바라보기 위한기능 뿐만 아니라 물놀이와 같이 사용자의 적극적인 참여도 유도하는 수경요소의 도입으로 변화하였다.¹⁾

2015년 환경부 조사결과에 의하면 지자체가 설치·관리하고 있는 물놀이형 수경시설의 수는 2011년 606개에서 2014년 868개로 연평균 12%가량 빠르게 증가하고 있는데, 연평균 상승률을 고려한다면 2018년 전국 지자체 물놀이형 수경시설의 수는 1,000개소를 넘어설 것으로 추정된다. 물놀이형 수경시설은 주거지역과 접근성이 좋아 쉽게 물놀이를 할 수 있고, 30cm 이하의 낮은 수심유지로 수영장, 해수욕장 등에서 일어나는 물리적 안전사고의 위험부담 없이 물놀이를 할 수 있다는 장점이 있어 그 수가 빠르게 증가하고 있는 것으로 보인다.

물놀이형 수경시설이란 수돗물, 지하수 등을 인위적으로 저장 및 순환하여 이용하는 분수, 연못, 폭포, 실개천 등의 인공시설물 중 일반인에게 개방되어 이용자의 신체와 직접 접촉하여 물놀이를 하도록 설치하는 시설을 말한다.²⁾

Nett et al.의 관찰에 따르면, 어린이들은 물놀이 시설에서 감독요원에 의한 지도 유무와 상관없이 엉덩이를 물 뿜는 곳에 대고 놀며, 약 절반 정도가 물놀이 용수 입을 입으로 받아 마시는 행위를 한다고 한다.³⁾ 2016년 1월 환경부는 “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률”을 개정하여 수경시설 기준으로 대장균, pH, 탁도, 유리잔류염소(염소소독시만 적용) 항목을 적용하였다. 그러나 어린이들의 물놀이 시설 이용행동과 어린이들의 면역력이 성인에 비해 미약하다는 점을 고려하면, 개정된 법률의 기준이 실제로 유효한지 검토의 여지가 있다.

이에 본 연구에서는 수경시설의 기준항목 외에 먹는물 항목 등을 추가 검사하여 울산지역의 물놀이형 수경시설에 대한 수질실태 파악 및 효율적인 수질관리 방안을 제시하여 수질기준이나 대책 마련시에 기초자료로 도움이 되고자 한다.

II. 이론적 배경

물놀이형 수경시설의 법적기준은 2010년 이전까지 규정되어 있지 않았으나, 환경부는 2010년 8월 수경시설의 수질안정성 확보를 위해 「물놀이형 수경시설의 수질관리지침」을 마련하였다. 그 기준은 Table 1에서 보는 바와 같이 대장균, pH, 탁도 항목에 대해서만 수질기준이 설정되어 있으며, 레지오넬라균은 대장균기준 초과시설에 대해서만 실시하고, 질산성질소 및 과망간산칼륨소비량은 상수를 사용하지 않는 경우에만 모니터링 하도록 설정되어있었다.⁴⁾ 그러나 법적근거가 없는 「물놀이형 수경시설의 수질관리지침」만으로는 수질검사를 하지 않는 시설이나, 수질기준을 초과한 시설에 대해 관리가 미흡한 실정이었다.

이에 환경부는 2016년 1월에 “수질 및 수생태계 보전에 관한 법률”을 개정하여 물놀이형 수경시설을 도입하였으며, 2017년 1월부터 시행하고 있다. 주요 내용은 시설신고를 의무화하여 물놀이형 수경시설을 설치, 운영하는 자에게 정기적인 수질검사를 받도록 하고, 수질검사 주기도 가동 시 월1회에서 월2회로 강화하였으며, 관리기준도 명시되어있다.⁵⁾ 새로이 시행된 수경시설의 수질기준은 Table 2에서 보는 바와 같이 대장균, pH, 탁도, 유리잔류염소이다. 유리잔류염소 항목은 염소소독시만 적용된다.

그러나 여름철 어린이들이 주로 이용하는 물놀이형 수경시설은 시설의 특성상 사용한 원수를 순환하여 재사용하는 방식을 채택하고 있다. 이는 처음에는 깨끗한 원수가 사용되더라도 이용도중 오염된 물이 재순환하면서 수경시설의 수질이 악화될 수 있다는 것을 의미한다.⁶⁾ 또한 해당 시설의 이용 도중 수경용수가 이용객들의 피부에 직접 닿을 뿐만 아니라 용수의 음용 가능성 및 비산되는 수분 에어로졸(aerosol)의 흡입 가능성도 충분히 존재한다. 이 경우, 수경용수의 수질이 보장되지 않으면 이용객들에게 대장균 등 감염에 의한 위장질환과 피부염 등이 발생할 수 있으며, 특히 면역력이 약한 영·유아, 임산부 등에게는 매우 심각한 영향을 미칠 수 있으므로⁷⁾ 보다 철저한 수질관리가 필요한 실정이다.

Table 1. Guideline items of waterscape facilities

Item	Permitted	Notes
pH	5.8~8.6	
Turbidity	4 NTU below	
E.coli	200 number/100 mL below	
Legionella spp.	-	Measurements were made from only the facilities that exceeded standard for E.coli
NO ₃ ⁻ -N	-	Measurements were made from only the facilities that do not use tap water
Consumption of KMnO ₄	-	Measurements were made from only the facilities that do not use tap water

Note) source : “물놀이형 수경시설의 수질관리지침” (2010.8), 환경부

Table 2. Permitted limit of waterscape facilities

Item	Permitted	Notes
pH	5.8~8.6	-
Turbidity	4 NTU below	-
E.coli	200 number/100 mL below	-
Residual Chlorine	0.4~4.0 mg/L	Application when sterilizing chlorine

Note) source : 물환경보전법률 시행규칙 [별표 19의2] , 환경부

III. 연구내용 및 방법

1. 연구대상 및 기간

본 연구의 대상시설은 울산시내 물놀이형 수경시설 중 지자체에서 관리하는 총 17개소를 선정하였고, 시료채취 지점은 Fig 1과 같다.

시료 채취는 2017년 7월부터 8월까지 지점별 4~6회, 시간대별 1~2회 실시하였다. 대상시설에 대한 자세한 사항은 Table 3에 표기하였으며, C1~C12는 조합물놀이대 형태이고, F1~F5는 바닥분수 형태이다.

2. 시료채취 및 전처리

시료채취지점은 『물놀이형 수경시설 운영관리 가이드라인(2017.3.)』에 따라 조합물놀이대 형태는 물이 고이는 물놀이장 중앙 또는 수심이 가장 깊은 지점에서 채수하였고, 바닥분수 형태는 바닥분수가 토출되고 있는 지점에서 채수하였다.²⁾

이화학분야 및 미생물 분석용 시료는 무균 채수병에 각각 2L씩 채취하였으며, THMs 분석용 시료는 미리 증류수로 잘 씻은 유리병에 기포가 생기지 아니하도록 조용히 채취하고 pH가 약 2가 되도록 인산(1+10)을 시료 10mL당 1방울을 넣었다. 잔류염소가 함유되어 있는 경우에는 이산화비소산나트륨용액을 넣어 잔류염소를 제거한 후 물을 추가하여 꼭 채워 밀봉한 후 4℃ 이하로 냉장 운반하였다.⁸⁾

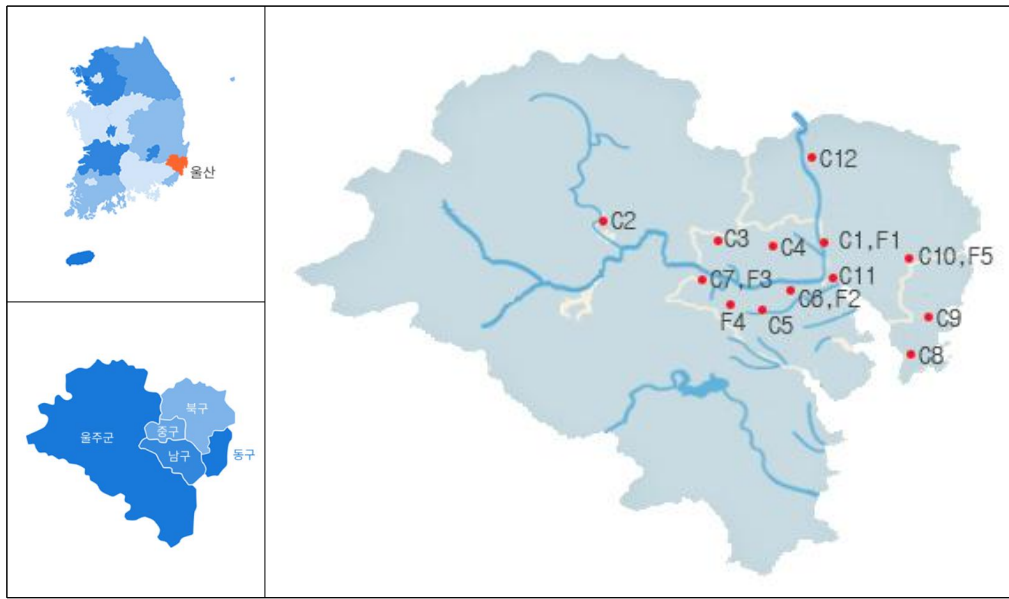


Fig. 1. Sampling sites of waterscape facilities in Ulsan city.

Table 3. Information of waterscape facilities selected for this study

Sampling Site	Type	Raw Water	Operation Period
C1	complex facilities	Tap water	Jun. ~ Aug.
C2	complex facilities	Tap water	Jun. ~ Aug.
C3	complex facilities	Tap water	Jun. ~ Aug.
C4	complex facilities	Tap water	Jun. ~ Aug.
C5	complex facilities	Tap water	Jul. ~ Aug.
C6	complex facilities	Tap water	Jul. ~ Aug.
C7	complex facilities	Tap water	Jul. ~ Aug.
C8	complex facilities	Tap water	Jul. ~ Aug.
C9	complex facilities	Tap water	Jul. ~ Aug.
C10	complex facilities	Tap water	Jul. ~ Aug.
C11	complex facilities	Tap water	Jul. ~ Aug.
C12	complex facilities	Tap water	Jul. ~ Aug.
F1	floor fountain	Tap water	Jun. ~ Aug.
F2	floor fountain	Tap water	Jul. ~ Aug.
F3	floor fountain	Tap water	Jul. ~ Aug.
F4	floor fountain	Tap water	Aug.
F5	floor fountain	Tap water	Jul. ~ Aug.

3. 분석방법

분석항목은 『물놀이형 수경시설 수질관리 지침』 항목을 포함하여 Table 4와 같이 총 21항목을 분석하였다. 이화학적 검사항목은 수소이온농도, 탁도, 잔류염소, 총질소, 암모니아성 질소, 아질산성 질소, 질산성 질소, 염소이온, 과망간산칼륨소비량, 총유기탄소, 휘발성유기화합물, THMs으로 12항목이었으며, 미생물학적 검사항목은 (중온)일반세균, 대장균, 장구균, 분원성대장균군, 분원성연쇄상구균, 아황산환원혐기성포자형성균, 녹농균, 살모넬라, 쉬겔라로 9항목이었다. 그 중 이화학적 검사항목 9항목과 미생물학적 검사항목인 7항목은 먹는물수질공정시험기준⁸⁾에 준하여 분석하였고, 이화학적 검사항목 3항목(총질소, 아질산성 질소, 총유기탄소)과 미생물학적 검사항목 1항목(대장균)은 수질오염공정시험기준⁹⁾에 따라 분석하였다. 그리고 장구균은 미국 EPA법에 준하여 분석하였다.

pH와 잔류염소는 현장에서 측정하였으며, 분해되기 쉬운 잔류염소는 시료의 pH를 인산염완충용액을 사용하여 약산성으로 조절한 후 *o*-톨리딘용액(*o*-tolidine hydrochloride, OT)으로 발색하여 잔류염소 표준비색표와 비교하여 분석하였다.

총질소(T-N)와 아질산성질소(NO₂-N)는 연속흐름법으로 분석하였는데 총질소는 시료 중 모든 질소산화물을 산화분해하여 질산성질소의 형태로 변화시킨 다음 카드뮴-구리환원 칼럼을 통과시켜 만들어진 아질산성질소의 양을 550nm 파장에서 측정하였다.⁹⁾ 암모니아성 질소(NH₃-N)는 자외선/가시선분광법으로 시료의 암모늄이온이 차아염소산의 공존 하에서 페놀과 반응하여 생성하는 인도 페놀의 청색을 640 nm에서 측정하였다.⁸⁾ 질산성 질소(NO₃-N)와 염소이온(Cl⁻)은 이온크로마토그래프를 이용하여 분석하였으며 시료는 0.2 μm 막 여과지를 통과시켜 고체미립자를 제거한 후 음이온 교환 컬럼을 통과시켜 각 음이온들을 분리한 후 전기전도도 검출기로 측정하였다.⁸⁾ 과망간산칼륨소비량(KMNO₄ consumption)은 시료를 산성으로 조절한 후 일정한 부피의 과망간산칼륨용액을 넣고 끓인 다음 일정한 부피의 옥살산나트륨용액을 가하여 반응하지 않고 남아있는 옥살산나트륨을 과망간산칼륨용액으로 적정하여 측정하였다.⁸⁾ 총유기탄소(TOC)는 시료에 2M 염산을 1.5% 가한 후 1분 30초간 정화(purging)하여 무기성탄소를 제거한 후 남은 유기성탄소를 백금촉매를 이용하여 CO₂로 고온산화하여 NDIR을 이용하는 비정화성 유기탄소(nonpurgeable organic carbon; NPOC) 정량방법을 이용하여 분석하였다. 휘발성 유기화합물, 총트리할로메탄(THMs)은 시료 중의 휘발성유기화합물을 일정온도에서 가열하여 평형상태에 있는 기상의 일정량을 기체크로마토그래프로 분리하여 전자포획검출기로 검출하였다.

(중온)일반세균의 분석은 먹는물수질공정시험기준 ES 05702.1a에 기초하여 실험하였다. 표준한천배지(Plate Count agar)를 사용하여 (35.0±0.5)℃에서 (48±2) 시간 배

양하여 정량(일반세균수(CFU)/mL)하였다.

분원성대장균군의 분석은 총대장균군의 효소기질이용법에 기초한 Colilert Kit로 실험하였으나, 정량검사를 위해 별도로 다중 웰(multi-well, Quanti-Tray 2000)을 이용하여 44.5°C에서 24시간 배양 후 효소발색을 나타내는 수를 산출하여 최확수법(moar probable number, MPN)을 통해 정량적인 수치(MPN/100mL)를 나타내었다.

대장균의 분석은 수질오염공정시험기준 ES 04703.1c에 기초하여 효소기질 시약(Colilert)과 시료를 혼합하여 다중 웰(multi well)에 넣어 35°C, 24시간 배양하였다. 배양 후 자외선 검출기(366nm)를 조사하여 형광을 나타내는 수를 산출하여 최확수법(moar probable number, MPN)을 통해 정량적인 수치(MPN/100mL)를 나타내었다.

분원성연쇄상구균의 분석은 먹는물수질공정시험기준 ES 05706.1b 시험관법에 기초하여 수행하였다. 아자이드 포도당 배지에 35±0.5°C, 48±3시간 배양을 통한 추정시험 후, 양성을 나타낸 시료를 Enterococcosel agar에 35±0.5°C, 24±2시간 배양하여 정성하였다.

장구균의 분석은 EPA Method 1600에 기초하여 수행하였다. 장구균 검사용 효소기질 시약(Enterolert)을 시료에 혼합하고 정량용 트레이(Quanti-Tray/2000)에 넣어 41±0.5°C, 24 ~ 28시간 배양한 후 365nm 자외선 램프를 비추어 형광을 띄는 개수를 세어 정량하였다.

아황산환원혐기성포자형성균의 시험은 먹는물수질공정시험기준 ES 05708.1b 시험관법에 의해 시행하였다. 75±1.0°C에서 10분간 아포형성시험을 통해 아포를 형성하지 못하는 균은 모두 사멸시킨 후 DRCM(Differential reinforced clostridal)배지에 35±0.5°C, 48±3시간 배양하여 검게 변한 아황산의 환원을 검사하였다.

녹농균의 시험은 먹는물수질공정시험기준 ES 05707.1b 시험관법에 의해 시행하였다. 아스파라진배지에서 35±0.5°C, 48±3시간 배양한 후 장과장의 자외선(365nm)을 조사하여 녹색형광을 띄는 양성시료에서 녹농균의 존재 여부를 확인하기 위해 확정시험을 실시한다. 아세트아미드 한천 배지에 35±0.5°C, 24 ~ 36 시간 배양하여 적자색을 나타내는 양성집락을 순수분리해 세균동정기를 사용하여 동정하였다.

살모넬라의 시험은 먹는물수질공정시험기준 ES 05709.2b 막여과법에 의해 시행하였다. 3배 농후 셀레나이트 액체배지를 이용해 37°C, 18 ~ 24 시간 증균시킨 후 비스무스 아황산염 선택배지에 35°C, 24시간 배양한다. 이 때 발견된 양성집락을 확인시험용배지(트립틱 소이 배지)로 옮겨 심어 배양 후 동정하였다.

쉬겔라의 시험은 먹는물수질공정시험기준 ES 05710.2b 막여과법에 의해 시행하였다. 3배 농후 셀레나이트 액체배지를 이용해 37°C, 18 ~ 24 시간 증균시킨 후 XLD한천선택배지에서 35°C, 24시간 배양한다. 이 때 발견된 양성집락을 확인시험용배지(트립틱 소이 배지)로 옮겨 심어 배양 후 동정하였다.

Table 4. Analytic equipments and methods

Item	Method	Equipment
pH	Electrometric	YSI Professional Plus
Turbidity	Turbidimeter	HACH 2100AN
Residual Chlorine	OT Colorimetry	-
T-N, NO ₂ -N	Continuous flow analysis(CFA)	AACS-V Bran Luebbe
NH ₃ -N	UV/Visible Spectrometry	PerkinElmer Lambda-35 UV/VIS
NO ₃ ⁻ -N, Cl ⁻	Ion Chromatography	Dionex ICS-5000
KMnO ₄ Consumption	Acid	-
TOC	NDIR(non-dispersive infrared)-	Shimadzu TOC-L
VOCs, THMs	Gas Chromatography	P&T-GC/ECD(clarus 680)
Total Colony Counts in 35°C	Pour Plate	-
Fecal Coliforms	Quantitative Enzyme Substrate	-
Escherichia coli	Quantitative Enzyme Substrate	-
Fecal Streptococcus	Multiple Tube	-
Enterococcus	Quantitative Enzyme Substrate	-
Clostridium perfringens	Multiple Tube	-
Pseudomonas aeruginosa	Multiple Tube	-
Salmonella	Multiple Tube	Bacterial discriminator
Shigella	Multiple Tube	Bacterial discriminator

IV. 결과 및 고찰

1. 울산시내 수경시설의 현황 및 관리실태

수경시설의 가동시기는 하절기인 6월~8월에 집중 가동되고 있었고, 가동시간도 매 정시에 가동을 시작해 40분 동안 운영하고 20분은 휴식하는 등의 시간표대로 유지되고 있었다. 또한 20분의 휴식시간동안 이용중이던 물이 여과기를 거쳐 여과되었으며, 안전요원들이 투입되어 부유물 및 침점물을 수시로 점검하고 제거하였다.

원수별 현황은 대상시설 모두 상수를 이용하고 있어, 원수 자체의 위해성 화학물질 및 병원성 세균에 의한 건강상 문제를 일으킬 위험성은 낮다고 판단되었다.

원수 이용방법은 C1, C2, F1 지점은 원수를 재순환하며 부족시 용수를 보충하고, 나머지 지점은 운영시간이 끝나면 물을 배수하고 매일 물을 교체하는 방식으로 운영되고 있었다.

C1, C2, F1 지점은 여과 및 소독이 무인시스템 전자동으로 관리되고 있어 설정시간마다 차아염소산나트륨이 자동 투입되고 있었으며, 나머지 지점중 염소소독을 하는곳은 관리인이 저수조에 하루 1~2회 약품을 직접 투입하는 수동방식으로 운영되었다. 수동방식으로 운영되는 곳은 염소투입량 조절 미숙 등으로 기준치 농도(0.4~4.0mg/L) 보다 낮게 관리되고 있어 미생물 오염이 우려되었다.

청소주기는 지침대로 일주일에 한번 청소하고 있었고, 수질검사는 시설의 가동개시일을 기준으로 운영기간동안 15일마다 1회 이상 실시하고 있었다.







	
<p style="text-align: center;">Filter</p>	<p style="text-align: center;">Automatic chlorine feeder</p>
	
<p style="text-align: center;">Predam</p>	<p style="text-align: center;">Predam</p>
	
<p style="text-align: center;">Complex facilities</p>	<p style="text-align: center;">Floor fountain</p>

Fig. 2. View of waterscape facilities.

2. 시설별 수질특성

『물환경 보전법률 시행규칙 별표 19의 2』에 따르면 현재 물놀이형 수경시설의 수질기준 항목은 pH, 탁도, 대장균, 유리잔류염소(염소소독을 실시하는 경우에만 해당한다)이다. 그러나 어린이들이 수경시설 이용 도중 직·간접적으로 물을 음용할 가능성이 많기 때문에 먹는물 수질기준의 이화학적 항목 및 병원성 미생물 항목을 추가하여 안전성을 알아보고자 하였다.

가. 이화학적 수질특성

각 지점의 분석 항목별 평균과 표준편차를 나타내었으며, 조합물놀이대(C1~C12)와 바닥분수(F1~F5)를 각각 구분하여 평균, 최대값, 최소값을 나타내었다. 지점별 이화학적 수질검사 결과를 Table 5와 Fig 3에 나타내었다.

pH의 검출범위는 조합물놀이대 7.6~8.0, 바닥분수 7.6~8.2, 평균 7.7, 7.9로 수경시설과 먹는물 기준을 모두 만족하였다. 사람의 건강과 pH와의 직접적인 관계는 확인되지 않았으나, pH 11이상, pH 4이하인 경우 눈, 피부, 점막 등에 자극을 초래하는 것으로 알려져 있다.¹⁰⁾ 또한 pH 8.6이상에서는 소독효과가 저하되고, 물이 혼탁하게 되며 스케일을 형성하므로²⁾ 적정 pH를 유지해야 한다.

탁도 범위는 조합물놀이대 0.71~1.61 NTU, 바닥분수 0.29~1.74 NTU, 평균 1.17, 0.73 NTU로 수경시설 기준인 4 NTU를 만족하였다. 다만 먹는물 수질기준인 1 NTU를 적용한다면, 10개 지점의 평균값이 먹는물 수질기준을 만족하지 못하는 것으로 나타났는데 이중 9개 지점은 조합물놀이대, 1개 지점은 바닥분수였다. 탁도는 점토, 콜로이드입자, 조류, 미생물, 부유물질 등에 의한 물의 탁한 정도를 정량적으로 나타내는 수질항목이다. 인체에 직접적인 위해성은 없으나, 탁도가 높을 경우 소독작용으로부터 박테리아의 성장 및 미생물을 보호하는 역할을 하여 살균소독을 방해하고, 유기체에 의한 질병감염 우려가 있다.²⁾ 탁도가 높은 물은 불쾌감을 주며 심미적으로 불안감을 느끼게 한다. 보통 1~4 NTU 범위는 사람의 눈으로 구별하기 어렵고, 대부분의 수경시설에서 물이 뿜어져 나오기 때문에 4.0 NTU 이하로 유지시켜주면 심미적 불안감이 나타나지 않을 것으로 사료되며 여과장치가 설치된 수경시설의 여과효율의 이상유무의 지표로도 활용가능하다.¹⁰⁾

잔류염소의 범위는 조합물놀이대 0.00~0.29 mg/L, 바닥분수 0.00~0.28 mg/L, 평균 0.07, 0.14 mg/L로 전 지점에서 수경시설 기준인 0.4~4.0 mg/L를 만족하지 못하는 것으로 나타났다. 잔류염소는 올해 신설되어 강화된 수경시설 수질기준 항목으로, 염소 소독시에만 적용되는 기준이다. 잔류염소는 일정시간이 지나면 휘발되는 특성이 있으며, 수경시설의 이용객이 많은 경우 소모속도가 빨라질 수 있다.²⁾ 잔류

염소가 제거된 이후에는 세균의 증식이 시작될 것이고 일정시간이 지나면 수체의 대기접촉, 사람의 활동 등으로 세균의 수는 급격히 증가 할 것이므로¹⁰⁾ 하루중 수시로 잔류염소량 점검이 필요할 것으로 판단된다.

총질소의 범위는 조합물놀이대 1.04~1.97 mg/L, 바닥분수 0.73~2.44 mg/L, 평균 1.48, 1.47 mg/L로 나타났다. 아질산성질소의 범위는 조합물놀이대 0.000~0.080 mg/L, 바닥분수 0.000~0.046 mg/L, 평균 0.024, 0.012 mg/L로 수질기준을 만족하였다. 아질산성 질소는 주로 대·소변, 하수 등의 혼입에 의한 암모니아성 질소의 산화 과정에서 생성되는 무기성 질소로, 수질 오탁을 표시하는 지표의 하나로 이용된다.¹¹⁾

암모니아성 질소의 범위는 조합물놀이대 0.02~0.21 mg/L, 바닥분수 0.02~0.05 mg/L, 평균 0.10, 0.03 mg/L로 먹는물 수질기준을 만족하였으나, C8 지점에서 최고 0.72 mg/L로 먹는물 수질기준을 1회 초과된 적이 있었다. 암모니아성 질소는 분뇨 또는 하수 등의 질소화합물을 함유하는 오염물에 의하여 오염된 시간이 많이 경과하지 않았고, 산화분해작용이 진행 중임을 의미한다. 간접적으로 분뇨오염 및 대장균의 수질오염을 측정하는 지표로서 물의 위생정도를 나타내므로¹¹⁾ 추후 항목 추가시 고려할 필요가 있다고 판단된다.

질산성 질소의 범위는 조합물놀이대 0.6~1.2 mg/L, 바닥분수 0.7~2.0 mg/L, 평균 0.9, 1.1 mg/L로 먹는물 수질기준을 만족하였으며, 전 지점에서 상수를 원수로 사용하고 있어 시설별 큰 차이 없이 낮은 농도를 보였다. 질산성 질소는 물의 오염지표로써 농도가 10 mg/L 이상이면 갓난아기에게 청색증을 유발하므로¹¹⁾ 어린이들이 많이 이용하는 수경시설의 특성상 추후 항목 추가시 고려할 필요가 있다고 판단된다.

염소이온의 범위는 조합물놀이대 34.1~54.0 mg/L, 바닥분수 37.2~54.6 mg/L, 평균 44.7, 45.1 mg/L로 먹는물 수질기준을 만족하였으며, 시설별 큰 차이 없이 낮은 농도를 보였다.

과망간산칼륨 소비량의 범위는 조합물놀이대 3.3~9.3 mg/L, 바닥분수 1.1~8.3 mg/L, 평균 5.0, 2.9 mg/L로 먹는물 수질기준을 만족하였으나, 일부지점(C1, C2, C8, F1)에서 최고 10.2~12.0 mg/L로 지점당 1~2회씩 초과된 적이 있었다. 과망간산칼륨 소비량은 수질판정의 중요한 지표로 소비량이 많다는 것은 이용객의 증가로 유기물이 다량 투입되었음을 의미한다.

총유기탄소의 범위는 조합물놀이대 2.26~4.76 mg/L, 바닥분수 1.49~4.82 mg/L, 평균 2.92, 2.28 mg/L로 수질 기준을 만족하였다. 총유기탄소는 유기물 함량 지표로 수중에 존재하는 유기물에 포함된 탄소의 총량을 말한다.¹¹⁾

총트리할로메탄의 범위는 조합물놀이대 0.001~0.030 mg/L, 바닥분수 0.004~0.026 mg/L, 평균 0.013, 0.017 mg/L로 먹는물 수질기준을 만족하였다. 총트리할로메탄은 물에 함유되어 있는 유기물 중 천연적으로 존재하는 부식질(Humic Substance)과 살균소독으로 사용되는 염소와 반응하여 생성되는 물질을 말한다.¹¹⁾

휘발성 유기화합물질은 전 지점, 전 횡수에서 검출되지 않아 먹는물 기준을 만족하였다.

이와 같이 이화학적 수질특성을 살펴본 결과, 유리잔류염소가 수경시설 기준인 0.4~4.0 mg/L를 만족하지 못하는 것으로 나타나 미생물 등의 오염이 우려되었으며, 먹는물 수질기준에서 탁도, 암모니아성 질소, 과망간산칼륨 소비량이 초과한 경우가 있어 어린이들이 시설 이용 중에 음용하는 일이 없도록 주의가 필요한 것으로 판단된다.

Table 5. Concentrations of water quality parameters of waterscape facilities

Site	pH	Turbidity (NTU)	Residual Chlorine (mg/L)	T-N (mg/L)	NO ₂ -N (mg/L)	NH ₃ -N (mg/L)
	Mean±SD	Mean±SD	(mg/L)	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
C1	7.8±0.0	1.47±0.53	0.27	1.85±0.46	0.000	0.11±0.11
C2	7.8±0.1	1.01±0.60	0.17	1.39±0.24	0.007±0.006	0.10±0.12
C3	7.7±0.2	0.89±0.63	0.00	1.39±0.19	0.010±0.005	0.05±0.05
C4	7.7±0.1	1.20±0.61	0.01	1.65±0.19	0.006±0.005	0.12±0.10
C5	7.7±0.3	1.30±0.64	0.00	1.33±0.43	0.054±0.081	0.11±0.15
C6	8.0±0.1	1.03±0.55	0.01	1.04±0.26	0.011±0.018	0.08±0.09
C7	7.8±0.2	1.04±0.45	0.00	1.53±0.30	0.014±0.013	0.06±0.07
C8	7.7±0.3	1.61±0.80	0.00	1.65±1.13	0.080±0.139	0.16±0.31
C9	7.7±0.4	1.52±0.37	0.00	1.97±0.65	0.074±0.124	0.21±0.24
C10	7.8±0.3	1.34±0.70	0.00	1.36±0.27	0.022±0.030	0.10±0.08
C11	7.6±0.1	0.92±0.35	0.03	1.31±0.21	0.004±0.005	0.04±0.02
C12	7.6±0.1	0.71±0.34	0.29	1.28±0.26	0.000	0.02±0.02
Average	7.7	1.17	0.07	1.48	0.024	0.10
Max.	8.0	1.61	0.29	1.97	0.080	0.21
Min.	7.6	0.71	0.00	1.04	0.000	0.02
F1	8.1±0.2	1.74±0.86	0.28	2.03±1.05	0.046±0.080	0.05±0.08
F2	7.6±0.1	0.29±0.12	0.15	0.73±0.06	0.000	0.02±0.01
F3	7.6±0.2	0.36±0.21	0.01	1.16±0.10	0.000	0.02±0.02
F4	7.8±0.3	0.65±0.42	0.25	1.00±0.37	0.000	0.05±0.06
F5	8.2±0.4	0.60±0.08	0.00	2.44±0.21	0.014±0.011	0.03±0.03
Average	7.9	0.73	0.14	1.47	0.012	0.03
Max.	8.2	1.74	0.28	2.44	0.046	0.05
Min.	7.6	0.29	0.00	0.73	0.000	0.02
Permitted limit (waterscape facilities)	5.8~8.6	4 below	0.4~4.0 below (Application when sterilizing chlorine)	-	-	-
Permitted limit (drinking water)	5.8~8.5	1 below	4.0 below	-	-	0.5 below

Table 5. Concentrations of water quality parameters of waterscape facilities

Site	NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)	KMNO ₄ consumption (mg/L)	TOC (mg/L)	THMs (mg/L)
	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD	Mean±SD
C1	0.7±0.1	45.9±8.2	9.3±2.0	4.76±0.85	0.026±0.025
C2	0.7±0.1	44.0±11.0	5.7±2.4	3.38±0.73	0.013±0.017
C3	0.9±0.2	34.8±8.8	3.9±1.8	2.26±0.57	0.018±0.023
C4	0.9±0.2	38.7±6.8	5.9±0.8	3.32±0.53	0.014±0.011
C5	0.8±0.1	54.0±3.0	5.6±1.8	2.82±0.37	0.006±0.008
C6	0.6±0.1	49.6±9.3	4.2±1.8	2.59±0.35	0.009±0.010
C7	1.1±0.2	34.1±9.1	3.3±1.0	2.27±0.28	0.001±0.001
C8	0.9±0.2	54.0±4.1	3.9±3.9	2.47±0.96	0.013±0.013
C9	1.2±0.3	51.3±5.3	5.6±2.8	2.99±0.56	0.005±0.003
C10	1.0±0.4	51.5±4.3	4.0±1.5	2.54±0.28	0.008±0.005
C11	0.9±0.2	41.5±4.6	5.5±2.3	2.97±0.96	0.015±0.009
C12	1.0±0.2	37.5±10.0	3.4±1.1	2.63±0.38	0.030±0.013
Average	0.9	44.7	5.0	2.92	0.013
Max.	1.2	54.0	9.3	4.76	0.030
Min.	0.6	34.1	3.3	2.26	0.001
F1	0.7±0.1	49.0±9.1	8.3±2.7	4.82±1.42	0.026±0.022
F2	0.7±0.1	54.6±1.8	1.3±0.5	1.58±0.09	0.026±0.015
F3	1.0±0.2	37.2±8.3	1.1±0.6	1.49±0.11	0.016±0.006
F4	0.9±0.3	39.4±12.1	1.6±0.5	1.59±0.07	0.013±0.019
F5	2.0±0.4	45.5±1.9	2.3±0.5	1.93±0.42	0.004±0.009
Average	1.1	45.1	2.9	2.28	0.017
Max.	2.0	54.6	8.3	4.82	0.026
Min.	0.7	37.2	1.1	1.49	0.004
Permitted limit (waterscape facilities)	-	-	-	-	-
Permitted limit (drinking water)	10 below	250 below	10 below	-	0.1 below

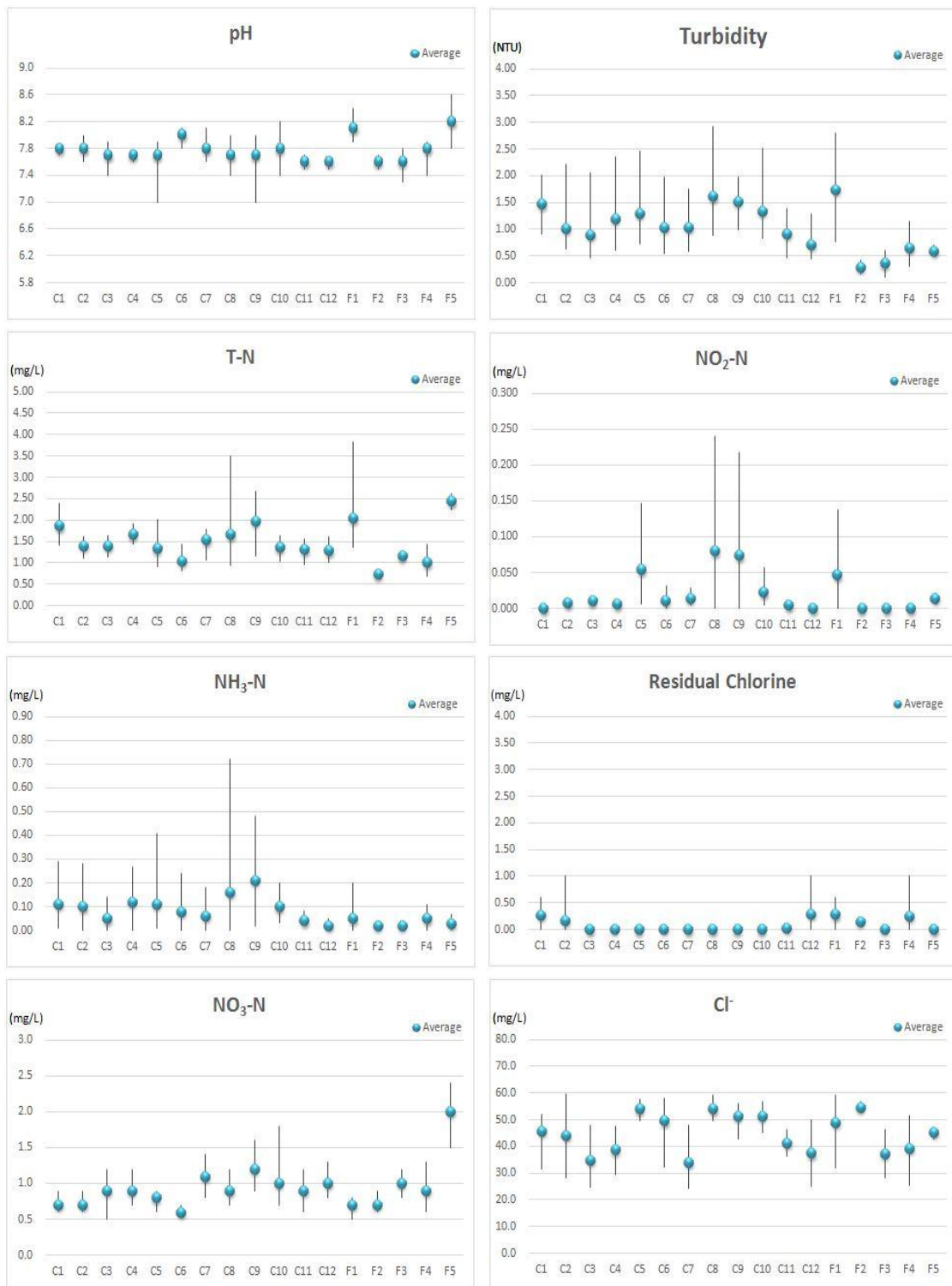


Fig. 3. Results of water quality parameters of waterscape facilities.

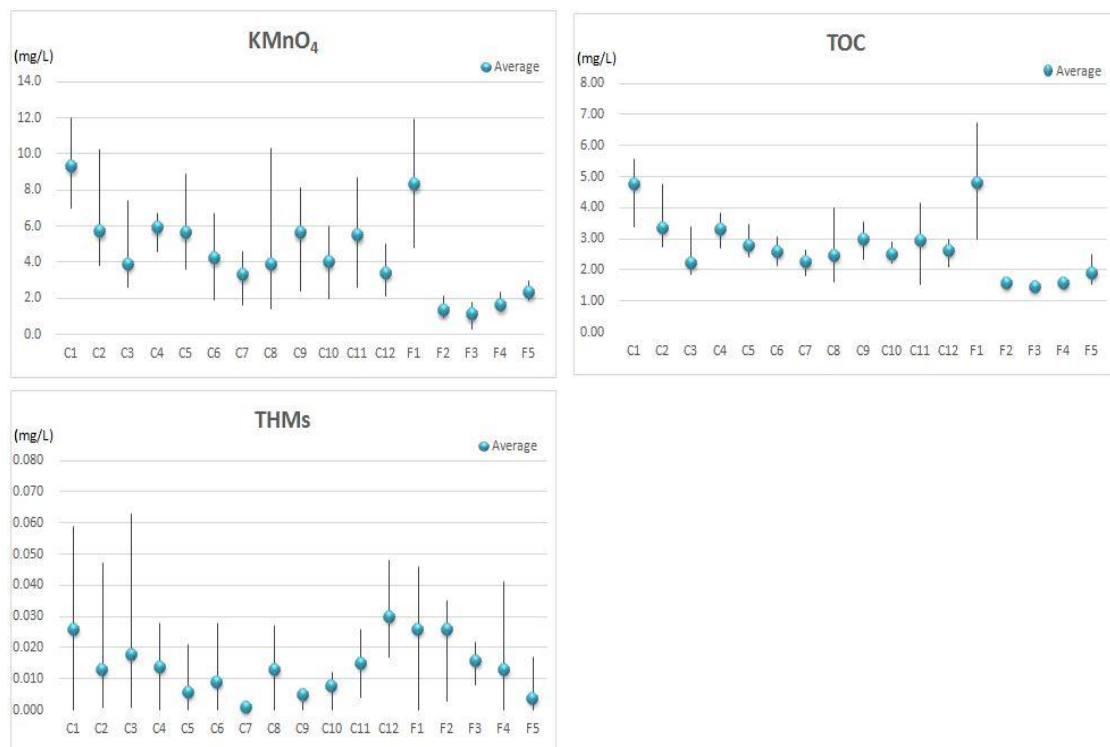


Fig. 3. Results of water quality parameters of waterscape facilities.

나. 미생물학적 수질특성

본 연구의 대상시설들은 모두 상수를 원수로 사용하였지만 대부분 원수의 이용방법을 살펴보면 사용한 원수를 순환하여 재사용하는 방식을 채택하고 있다. 이는 처음에는 깨끗한 원수가 사용되더라도 이용도중 오염된 물이 재순환하면서 수경시설의 수질이 악화될 수 있다는 것을 의미한다.⁶⁾ 수경시설의 이용도중 용수의 음용가능성 및 비산되는 수분, 에어로졸(aerosol)의 흡입 가능성도 충분히 존재하므로⁷⁾ 안전성을 확인하고자 먹는물 수질기준의 미생물학적 수질검사를 실시하였으며 결과를 Table 6에 나타내었다.

일반세균은 호기성, 통성 혐기성 등 종속영양 세균의 총칭으로 인간이나 온혈동물의 분변 오염과 관계없이 자연적으로 물속에 존재하는 세균을 평가하는데 사용된다.¹²⁾ 일반세균이 먹는물에서는 총대장균군보다 상대적으로 많이 분포하며, 유기영양분이 많을수록 높은 농도로 검출되는 특성¹¹⁾을 가지며, 멸균·소독 잔류성 판단의 척도로 이용되고 있다.

본 연구에서는 Fig 4와 같이 F2를 제외한 전 지점에서 먹는물 수질기준을 초과한 것으로 나타났는데, 기준을 만족하는 경우가 전체 90회 조사 중 19회 뿐이었다. 이는 수경시설 운영시기가 기온 30℃가 넘는 여름철에 가동되고 원수를 소독 없이 순환시켜 사용하는 등의 이유로 세균 증식이 활발했던 것으로 판단된다. 일반세균은 먹는물에서 발견되어도 인체 내에서 직접적으로 병을 일으키는 경우가 거의 없다고 알려져 있지만, 먹는물 수질기준 100 CFU/mL를 초과한 경우 병원성 미생물이 존재할 가능성이 있으므로 면역력이 약한 노인, 어린이 등은 주의를 기울여야 할 것이다.⁶⁾

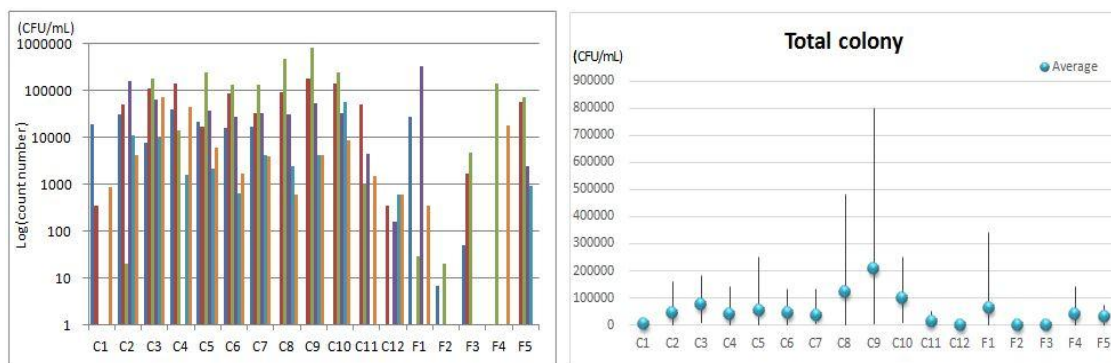


Fig. 4. Characteristics of total colonies.

분원성대장균군은 44~45°C에서 유당을 발효할 수 있는 세균으로, Escherichia 속과 그보다 낮은 범위로 존재하는 Klebsiella, Enterobacter, Citrobacter 등으로 구성되어 있다.¹²⁾ 배양온도가 44.5°C로 높아 열저항성 대장균군이라고도 하며, 분원성 오염의 지표세균으로 간주된다.¹¹⁾ 분원성대장균군은 먹는물 수질기준이 불검출/100 mL이나 검사결과, C12, F2를 제외한 전 지점에서 검출되었다. C3, C5~C10, F5 지점에서는 모든 검사횟수에서 분원성 대장균군이 검출되었으며, 조사결과는 Table 6와 Fig 5에 나타내었다.

대장균군은 인간이나 온혈동물의 장내 우점을 이루는 통성 혐기성 세균으로, 총대장균군, 분원성대장균군보다 분원성 오염에 대한 특이성이 높아 가장 신뢰할 수 있는 분원성 오염지표이다.¹¹⁾ 대장균군은 물놀이수경시설의 기준인 200개/100 mL를 초과하는 경우가 C5~C9에서 1회씩 있었으며, 특히 C6지점은 기준의 10배인 1,986개/100 mL가 검출되기도 하였다. 그리고 먹는물 수질기준(불검출/100 mL)은 전체 90회 조사중 54회가 부적합하였다. 대장균군 대부분이 비병원성이나 일부는 장질환을 일으키기도 한다.¹¹⁾

분원성 연쇄상구균은 장내에서 발견되는 세균으로 그람 양성 구균이며 사람과 온혈동물의 분비물 및 하수 등으로부터 배출된다. 대장균 보다는 분변에서 배출농도가 높지 않지만 수환경이나 처리과정에서 생존율이 높다. 일반적으로 비병원성이나, 때에 따라 생식비뇨기계 질병을 유발 하기도 한다.¹¹⁾ 분원성 연쇄상구균은 먹는물 수질기준에서 불검출/250mL이나 C1, C11, C12, F2, F4 지점을 제외한 전 지점에서 검출되었다. 그리고 C5, C7, C9, C10 지점에서는 모든 검사횟수에서 분원성 대장균군이 검출되었다.

장구균은 짧은 연쇄, 때로는 쌍구균 형상을 드러내며 그램염색에서 양성인 구균이다. 사람과 동물의 장관내에 서식하고 분변에서 외계에 배출되어 자연계에 널리 분포되어 있으며 장기간에 걸쳐 생존한다. 이 균에 의한 증상은 욕지기, 설사, 복통을 주로 하는 위장염형이다.¹¹⁾ 본 연구에서 장구균은 C12, F2를 제외한 전 지점에서 검출되었다. 외국에서는 다수의 연구를 통해 질병과 농도 간 유의성이 증명된 장구균을 자연 위락용수에 대한 분변오염 지표 미생물로 설정하고 있으므로⁷⁾ 수경시설에서 분변오염 지표 미생물 항목으로 추가할 필요가 있다고 사료된다.

아황산환원혐기성포자형성균군은 그람양성의 간균으로 혐기성균이며 대장균군과 같은 비포자 형성균보다 아황산환원혐기성이 강하므로 과거의 미생물 오염이나 간헐적인 오염을 조사하는데 이용될 수 있다. 또한 분변오염의 추적자로서 이용될 수 있는데 포자에 의해 소독제에 내성을 나타낸다. 보통 온혈동물의 분변 속에서 흔히 발견되며 장독소를 분비함으로써 식중독의 원인이 되기도 하는데¹³⁾ 이러한 아황산

환원혐기성포자형성균도 C1, F2를 제외한 전 지점에서 검출되었다.

녹농균은 그람음성 호기성 간균으로 토양, 공기, 물, 하수 등 자연계에 널리 분포하며, 수분이 많은 환경에 흔하게 존재한다. 그다지 병원성이 강하지는 않지만 방어력이 결핍된 부위 또는 혼합 감염을 일으킬 때 병원균으로 작용하며, 면역기능 저하자에 대해 기회성 병원균으로 작용하기도 한다.¹¹⁾ 녹농균은 F1, F3을 제외한 전 지점에서 검출되었다.

살모넬라는 2000여종의 혈청형으로 구분되며 그 가운데 병원성을 갖고 있는 것은 일부에 한정된다. 그중 S.Typhi, S, Paratyphi A, B, C 등은 사람에게 장티프스나 파라티프스의 원인균이 되고, 이들 법정전염병의 원인이 되는 형을 제외한 대부분의 살모넬라는 급성위장염을 일으키는 식중독의 원인이 된다.¹⁴⁾

쉬겔라는 대장의 급성 세균성 감염증인 세균성 이질의 원인균이며, 발열, 복통, 설사를 주요 증상으로 하며, 중증인 경우 농점상 혈변을 야기한다. 세계 전 지역에서 발생되며 소량의 세균으로도 감염이 성립되는데¹⁴⁾ 본 연구에서는 살모넬라 및 쉬겔라 모두 불검출로 나타났다.

이와 같이 미생물학적 수질특성을 살펴본 결과, 살모넬라, 시겔라를 제외한 전항목이 대부분 지점에서 수경시설 기준 및 먹는물 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다. 적절한 여과 및 소독으로 병원성 미생물을 효과적으로 제거하여 물놀이형 수경시설의 인체 안정성을 보장해야 할 것이다.

Table 6. Concentrations of water quality parameters on microorganisms

Site	Total colony (CFU/mL)	Fecal Coliforms (MPN/100mL)	EColi (MPN/100mL)	Fecal Streptococcus (/250mL)	Enterococcus (MPN/100mL)	Clostridium perfringens (/50mL)	Pseudomonas aeruginosa (/250mL)	Salmonella, Shigella (/250mL)
C1	0~19,000	0~23	0~17	ND ¹⁾	0~2	ND	2/4 ²⁾	ND
C2	20~160,000	0~249	0~187	2/6	0~36	3/6	2/4	ND
C3	7,800~180,000	2~28	1~11	2/6	0~35	2/6	3/4	ND
C4	0~140,000	0~75	0~55	2/6	0~16	3/6	2/4	ND
C5	2,200~250,000	72~1,533	36~1,414	6/6	6~308	5/6	4/4	ND
C6	660~130,000	8~2,420	6~1,986	4/6	0~866	5/6	3/4	ND
C7	4,000~130,000	67~866	11~866	6/6	5~127	5/6	3/4	ND
C8	610~480,000	3~2,420	2~1,733	4/5	0~548	4/5	4/4	ND
C9	4,200~800,000	91~770	17~517	5/5	12~167	4/5	3/4	ND
C10	8,900~250,000	25~248	4~43	5/5	13~102	4/5	3/4	ND
C11	0~51,000	0~25	0~23	ND	0~2	3/5	1/4	ND
C12	0~620	ND	ND	ND	ND	2/5	1/4	ND
F1	0~340,000	0~79	0~16	1/6	0~31	1/6	ND	ND
F2	0~20	ND	ND	ND	ND	ND	1/2	ND
F3	0~4,800	0~69	0~20	1/4	0~1	1/4	ND	ND
F4	0~140,000	0~38	0~20	ND	0~4	4/4	1/4	ND
F5	910~72,000	6~88	0~4	2/4	2~27	4/4	1/3	ND
Permitted limit	100CFU/mL (drinking water)	ND/100mL (drinking water)	200/100mL (Waterscape facilities)	ND/250mL (bottled water)	ND/100mL (sea water)	ND/50mL (bottled water)	ND/250mL (bottled water)	ND/250mL (bottled water)

Note) 1) Not Detected(negative)

2) No. of detected sample/Total sample

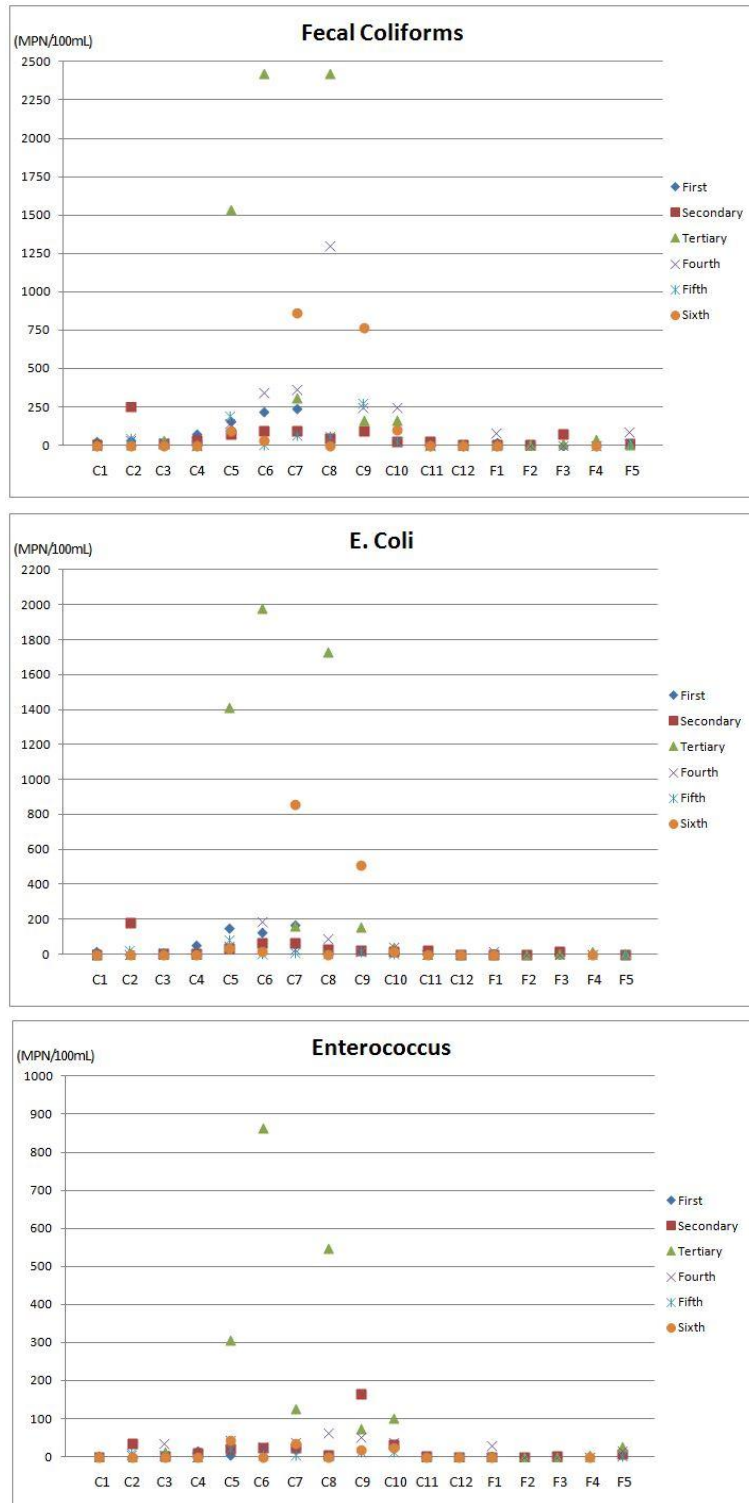


Fig. 5. Results of water quality parameters on microorganisms.

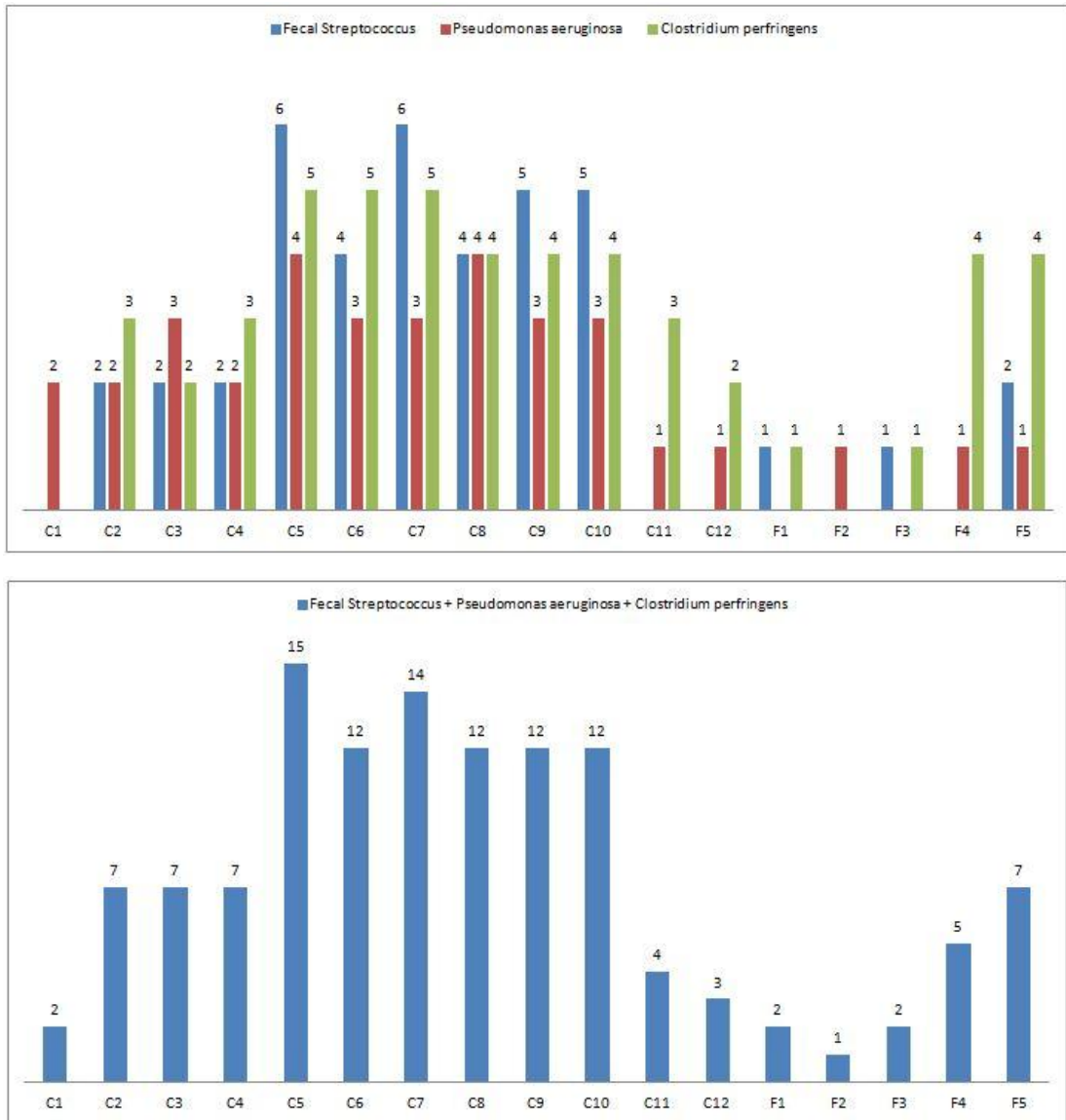


Fig. 6. Results of water quality parameters on microorganisms.

3. 시간적 오염분포

하루중의 수질오염도 변화 및 미생물 분포 특성을 알아보기 위해 물놀이형 수경 시설 5개소를 선정하여 오전 10시부터 오후 5시까지 매시간마다 시료를 채취하여 수질검사를 실시하였다. 대상시설은 조합물놀이대 4개소(C1, C5, C8, C11), 바닥분수 1개소(F1)로, 지점별 총 1~2회, 시간대별 6~8회 채수하였다.

가. 이화학적 수질특성

pH의 검출범위는 7.4~8.3으로 누적이용객이 증가할수록 pH가 소폭 상승하는 것으로 나타났다. 누적 이용객의 증가로 수내에 유기물질농도가 증가함에 따라 유리잔류염소가 소비되어 pH가 상승된 것으로 판단된다.

탁도는 C1, F1 지점은 시간이 지남에 따라 점차 증가하는 추세였으나 수경시설 기준인 4NTU를 초과하지 않았다. 다만 C1 지점은 13시 이후부터 먹는물 수질기준인 1NTU를 약간 넘어섰으며, F1 지점은 개장시간부터 먹는물 수질기준을 만족하지 못하였다. C5, C8, C11 지점은 탁도값이 증가와 감소를 반복하였는데 이는 운영시간동안 오염물질의 유입으로 탁도가 증가하였다가 휴식시간에는 여과기를 거쳐 여과됨으로써 탁도가 감소한 것으로 판단된다.

유리잔류염소는 C1 지점 0.20~2.00 mg/L, F1 지점 2.00~5.00 mg/L로 다른 세 지점에 비하여 일정 농도 이상의 유리잔류염소가 유지되었으며, C5, C8, C11 지점은 불검출~0.10 mg/L로 유리잔류염소가 거의 존재하지 않았다. C1, F1 지점은 소독제가 기계에 의해 시간마다 자동 투입되어 일정농도 이상의 유리잔류염소가 유지된 것으로 보여진다.

총질소, 아질산성 질소, 암모니아성 질소, 총유기탄소는 시간이 지남에 따라 소폭 증가하였으며, 과망간산칼륨 소비량은 개장시간 농도의 2~3배 가량 증가하였는데 이는 수경시설 이용객에 의해 유기물질이 유입되었음을 보여준다. 질산성 질소, 염소이온, 총트리할로메탄은 시간의 변화에 따른 특이점을 찾을 수 없었으며, 휘발성 유기화합물질은 검출되지 않았다.

이와같이 시간의 흐름에 따른 수질특성을 살펴본 결과 누적 이용객이 많아질수록 pH, 탁도, T-N, NO₂-N, NH₃-N, KMnO₄, TOC가 증가하는 것으로 나타났으며, 나머지 이화학적 항목들은 큰 변화가 없는 것으로 나타났다. 그리고 시설규모가 크고 이용객이 많은 C1, F1 지점에서는 다른 지점보다 더 큰 증가폭을 보였다.

Table 7. Concentrations of water quality parameters of waterscape facilities

category	Site	Hour							
		10	11	12	13	14	15	16	17
pH	C1	7.5	7.6	7.8	7.8	7.8	7.9	7.8	7.9
	C5-1 ¹⁾	7.6	7.7	7.8	7.9	8.0	7.9	8.0	-
	C5-2 ²⁾	7.4	7.6	7.8	7.9	7.8	7.9	7.9	-
	C8-1	7.9	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	-	-
	C8-2	7.7	8.0	8.1	8.1	8.1	8.1	-	-
	C11	7.6	7.6	7.6	7.7	7.8	7.9	7.8	-
	F1	8.0	8.1	8.2	8.2	8.3	8.3	8.3	8.3
Turbidity (mg/L)	C1	0.57	0.67	0.70	0.83	0.90	1.01	1.02	1.19
	C5-1 ¹⁾	0.54	0.41	0.53	0.57	0.60	0.60	0.64	-
	C5-2 ²⁾	0.55	0.62	0.97	1.03	1.05	0.69	0.89	-
	C8-1	0.90	0.34	0.82	0.51	0.54	1.12	-	-
	C8-2	0.69	0.35	0.65	0.63	0.64	1.30	-	-
	C11	0.53	0.41	0.56	0.50	0.55	0.60	0.64	-
	F1	1.01	1.06	1.07	1.07	1.18	1.21	1.19	1.34
Residual Chlorine (mg/L)	C1	2.00	1.50	0.70	0.20	0.20	0.40	0.30	0.40
	C5-1 ¹⁾	0.10	0.10	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	-
	C5-2 ²⁾	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	-
	C8-1	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	C8-2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-
	C11	0.10	0.00	0.20	0.10	0.10	0.10	0.00	-
	F1	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	2.00	2.00	2.00
T-N (mg/L)	C1	1.62	1.68	1.68	1.80	1.85	1.89	1.95	1.90
	C5-1 ¹⁾	0.92	0.84	0.92	0.96	0.98	1.05	0.98	-
	C5-2 ²⁾	1.01	0.94	1.00	1.23	1.06	1.12	1.18	-
	C8-1	0.78	0.86	0.86	1.09	1.17	1.10	-	-
	C8-2	0.88	0.91	1.10	1.10	1.12	1.23	-	-
	C11	1.39	1.46	1.39	1.40	1.40	1.45	1.36	-
	F1	1.74	1.76	1.81	1.90	1.92	1.98	2.15	2.01
NO ₂ -N (mg/L)	C1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	C5-1 ¹⁾	0.000	0.000	0.000	0.004	0.005	0.006	0.007	-
	C5-2 ²⁾	0.004	0.000	0.000	0.004	0.005	0.006	0.008	-
	C8-1	0.000	0.000	0.004	0.007	0.011	0.013	-	-
	C8-2	0.000	0.000	0.004	0.006	0.007	0.009	-	-
	C11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-
	F1	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

Note) 1) -1 : First irradiation

2) -2 : Secondary irradiation

Table 7. Concentrations of water quality parameters of waterscape facilities

category	Site	Hour	10	11	12	13	14	15	16	17
NH ₃ -N (mg/L)	C1		0.01	0.04	0.03	0.08	0.11	0.08	0.14	0.10
	C5-1 ¹⁾		0.01	0.00	0.02	0.02	0.03	0.03	0.03	-
	C5-2 ²⁾		0.00	0.00	0.00	0.03	0.02	0.02	0.03	-
	C8-1		0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	-	-
	C8-2		0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	-	-
	C11		0.05	0.03	0.04	0.03	0.04	0.03	0.04	-
	F1		0.02	0.11	0.05	0.06	0.07	0.06	0.10	0.09
NO ₃ ⁻ -N (mg/L)	C1		1.0	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8
	C5-1 ¹⁾		0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.6	-
	C5-2 ²⁾		0.8	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	-
	C8-1		0.7	0.7	0.7	0.7	0.8	0.8	-	-
	C8-2		0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8	-	-
	C11		1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	1.0	1.0	-
	F1		0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0	1.0
Cl ⁻ (mg/L)	C1		45.8	45.4	45.7	47.3	46.8	47.5	47.8	48.3
	C5-1 ¹⁾		49.5	50.0	50.5	49.7	49.7	50.9	49.7	-
	C5-2 ²⁾		50.0	49.9	50.0	50.6	51.3	50.4	50.9	-
	C8-1		46.7	46.4	47.7	48.1	48.0	47.6	-	-
	C8-2		50.0	50.5	50.7	51.0	50.8	51.6	-	-
	C11		36.6	36.9	38.2	38.4	38.3	38.5	38.2	-
	F1		55.4	55.3	53.6	53.6	53.2	53.5	53.5	53.8
KMNO ₄ consumption (mg/L)	C1		5.2	6.5	6.9	8.1	8.7	9.9	10.0	10.0
	C5-1 ¹⁾		2.6	2.4	2.7	3.2	3.4	3.5	3.8	-
	C5-2 ²⁾		1.8	2.0	3.6	3.9	4.2	4.2	4.8	-
	C8-1		1.1	1.3	2.2	2.7	3.1	3.4	-	-
	C8-2		1.2	1.8	2.9	3.3	3.5	4.2	-	-
	C11		4.9	6.1	4.9	4.8	5.3	5.5	6.3	-
	F1		7.6	7.6	7.7	7.9	8.5	8.7	9.2	9.7
TOC (mg/L)	C1		3.56	3.69	3.77	3.68	3.90	4.08	4.19	4.31
	C5-1 ¹⁾		2.10	2.07	2.09	2.14	2.33	2.35	2.37	-
	C5-2 ²⁾		2.17	2.13	2.27	2.46	2.41	2.45	2.94	-
	C8-1		1.78	1.85	1.89	2.13	2.23	2.30	-	-
	C8-2		1.82	1.91	2.42	2.29	2.40	2.51	-	-
	C11		2.63	2.61	2.55	2.51	2.58	2.64	2.69	-
	F1		5.03	4.53	4.55	4.60	4.56	4.60	4.54	4.48

Note) 1) -1 : First irradiation

2) -2 : Secondary irradiation

Table 7. Concentrations of water quality parameters of waterscape facilities

category	Site	Hour							
		10	11	12	13	14	15	16	17
THMs (mg/L)	C1	0.028	0.028	0.028	0.022	0.023	0.024	0.022	0.028
	C5-1 ¹⁾	0.015	0.015	0.011	0.008	0.004	0.003	0.002	-
	C5-2 ²⁾	0.014	0.012	0.008	0.005	0.006	0.024	0.003	-
	C8-1	0.018	0.010	0.004	0.000	0.000	0.001	-	-
	C8-2	0.018	0.011	0.003	0.000	0.000	0.000	-	-
	C11	0.015	0.011	0.031	0.028	0.016	0.015	0.015	-
	F1	0.059	0.057	0.057	0.056	0.053	0.051	0.049	0.045

Note) 1) -1 : First irradiation

2) -2 : Secondary irradiation

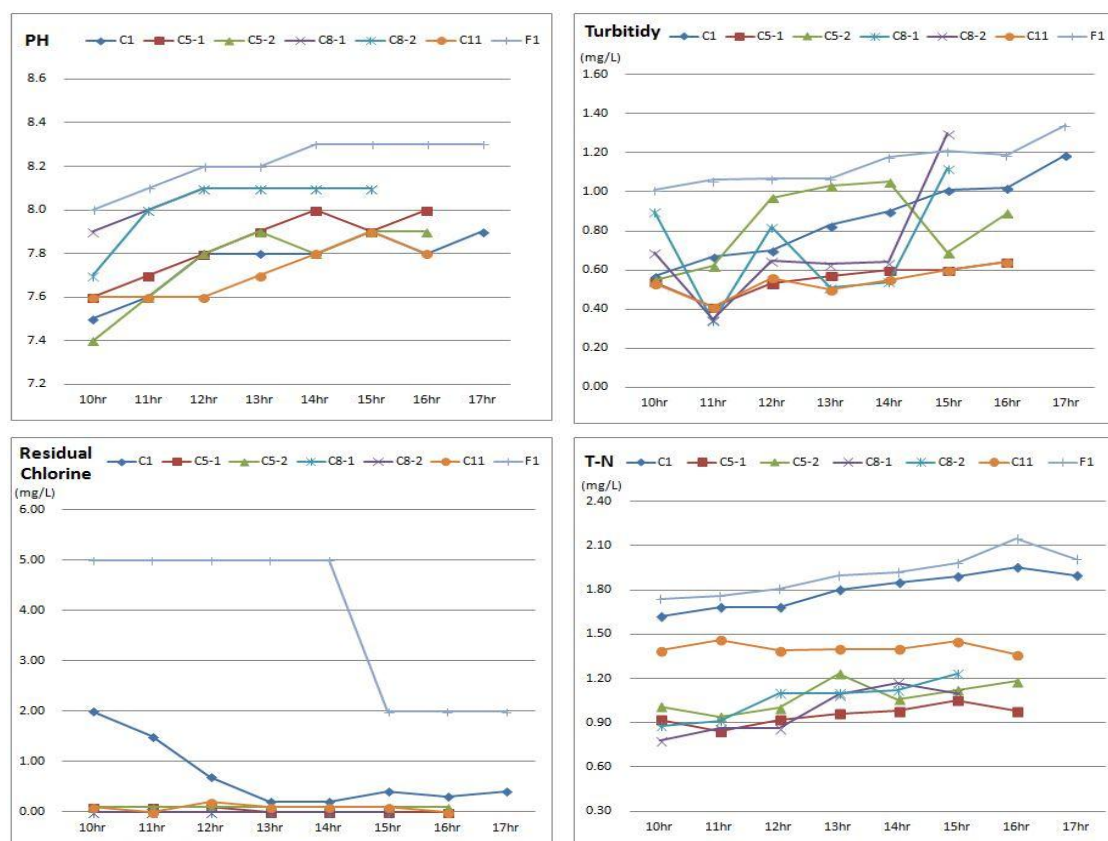


Fig. 7. Results of water quality parameters of waterscape facilities.

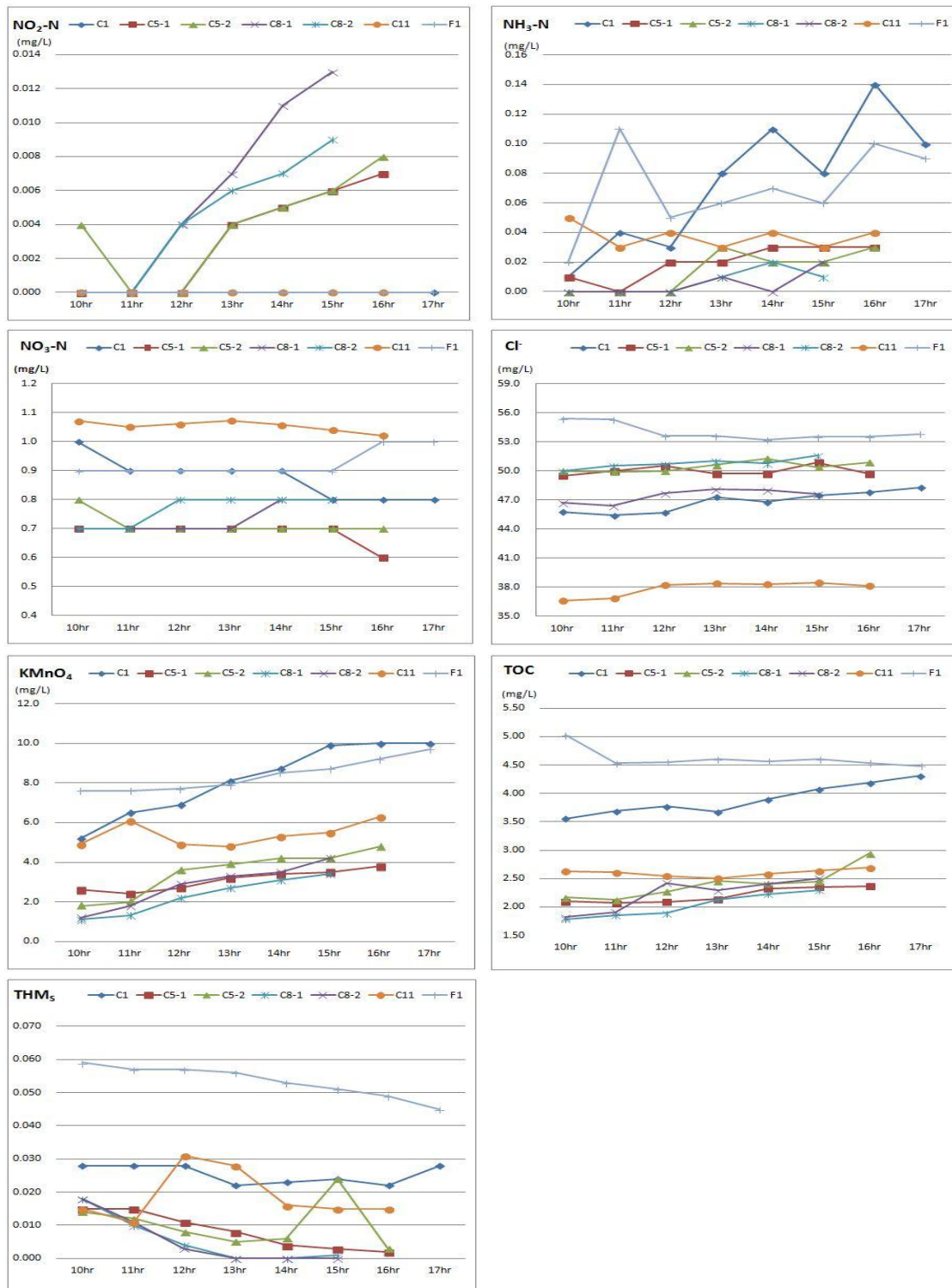


Fig. 7. Results of water quality parameters of waterscape facilities.

나. 미생물학적 수질특성

일반세균은 유리잔류염소가 잘 유지되는 C1, F1 지점과 기준을 만족하지 못하는 C5, C8, C11 지점이 상반되는 결과를 보였다. 먼저 C1, F1 지점은 이용객이 많아지는 11시~14시에 일반세균이 점차 증가하다 15시 이후로는 검출되지 않았다. 그 반면 C5, C8 지점은 시간이 지날수록 일반세균이 증가하여 개장시간의 수치보다 많게는 10배 가량 증가하기도 하였다. 이러한 결과로 유리잔류염소가 일정 농도 이상으로만 유지되어도 미생물의 멸균·소독력이 잘 유지됨을 알 수 있다.

대장균, 분원성대장균, 분원성연쇄상구균 역시 C1, F1 지점에서는 검출되지 않았으며, C5 지점은 12, 16시, C8지점은 13, 14시, C11지점은 11시에 검출갯수가 갑자기 증가하였는데 분원성 오염원이 수내에 투입되었을 것으로 판단된다. 전 지점에서 대장균과 분원성대장균은 비슷한 경향을 보였다.

아황산환원혐기성포자형성균군은 C5, C8, C11 지점에서 개장시간부터 검출되었다. 이용객에 의한 오염보다는 따뜻하고 물기있는 환경특성상 여과장치, 배수구, 바닥 등이 서식환경이 되었을 가능성이 높을 것으로 판단되며 수질관리뿐만 아니라 시설의 주기적인 청소 및 정비가 필요할 것이다.

C5, C8 지점에서 녹농균과 분원성연쇄상구균이 검출되었는데 녹농균은 자연계에 널리 분포하며, 수분이 많은 환경에 흔하게 존재하며¹¹⁾, 분원성연쇄상구균은 수환경이나 처리과정에서 생존율이 높은 것으로 알려져 있다. 아황산환원혐기성포자형성균군, 녹농균, 분원성연쇄상구균의 오염원이 이용객이 원인인지 다른 환경의 문제인지는 추가연구가 필요할 것으로 판단된다.

미생물 분포특성을 살펴보면 C1, F1 지점은 분원성대장균, 대장균, 분원성연쇄상구균, 장구균, 아황산환원혐기성포자형성균군, 녹농균 항목 모두 검출되지 않았다. C5, C8 지점은 모든 미생물 항목이 한번이상 검출되었으며, C11 지점은 분원성 연쇄상구균, 녹농균 항목은 검출되지 않았으며, 일반세균, 분원성대장균, 대장균, 장구균, 아황산환원혐기성포자형성균군 항목은 한번 이상 검출되었다.

C1, F1 지점을 제외한 나머지 지점에서는 잔류염소의 농도가 수경시설 수질기준인 0.4~4 mg/L를 만족하지 못하는 것으로 나타나 하루 이용객수에 따른 관리자의 여과 및 소독작업의 탄력적 운영이 필요할 것으로 판단된다. 또한 잔류염소가 0.1 mg/L 이하로 떨어지면 미생물 등의 오염이 우려되므로¹⁵⁾ 하루 중 수시로 잔류염소량 점검이 필요할 것이다. 조사결과는 Table 8과 Fig 8~10에 나타내었다.

Table 8. Concentrations of water quality parameters on microorganisms

category	Site	Hour							
		10	11	12	13	14	15	16	17
Total colony (CFU/mL)	C1	0	180	330	580	770	0	0	0
	C5-1 ¹⁾	1,900	800	2,000	2,800	4,000	3,700	3,600	-
	C5-2 ²⁾	240,000	280,000	130,000	160,000	170,000	57,000	150,000	-
	C8-1	520	780	870	3,800	3,200	3,500	-	-
	C8-2	5,700	12,000	32,000	33,000	43,000	57,000	-	-
	C11	1,200	2,300	140	350	420	150	410	-
	F1	0	23	42	23	0	0	37	0
Fecal Coliforms (MPN/100mL)	C1	<1 ³⁾	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	C5-1 ¹⁾	20	4	23	20	23	38	80	-
	C5-2 ²⁾	129	73	517	236	53	96	126	-
	C8-1	<1	5	3	53	27	16	-	-
	C8-2	1	79	66	99	461	326	-	-
	C11	<1	11	<1	<1	<1	<1	<1	-
	F1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
EColi (MPN/100mL)	C1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	C5-1 ¹⁾	12	4	13	12	19	12	66	-
	C5-2 ²⁾	16	7	517	157	9	4	44	-
	C8-1	<1	3	2	24	53	6	-	-
	C8-2	<1	20	6	13	461	308	-	-
	C11	<1	10	<1	<1	<1	<1	<1	-
	F1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Fecal Streptococcus (/250mL)	C1	ND ⁴⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	C5-1 ¹⁾	ND	ND	ND	D ⁵⁾	ND	D	D	-
	C5-2 ²⁾	ND	D	D	D	D	ND	D	-
	C8-1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-	-
	C8-2	ND	ND	D	D	D	D	-	-
	C11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
	F1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Note) 1) -1 : First irradiation
2) -2 : Secondary irradiation
3) <1 : Not Detected(negative)
4) ND : Not Detected(negative)
5) D : Detected

Table 8. Concentrations of water quality parameters on microorganisms

category	Site	Hour							
		10	11	12	13	14	15	16	17
Enterococcus (MPN/100mL)	C1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
	C5-1 ¹⁾	1	<1	9	7	9	22	26	-
	C5-2 ²⁾	1	<1	1	6	4	6	17	-
	C8-1	<1	<1	<1	3	3	2	-	-
	C8-2	<1	1	4	3	2	7	-	-
	C11	1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	-
	F1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Clostridium perfringens (/50mL)	C1	ND ⁴⁾	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	C5-1 ¹⁾	D ⁵⁾	D	D	D	D	D	D	-
	C5-2 ²⁾	D	D	D	D	D	D	D	-
	C8-1	D	D	D	D	D	D	-	-
	C8-2	D	D	D	D	D	D	-	-
	C11	D	ND	ND	ND	D	D	D	-
	F1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Pseudomonas aeruginosa (/250mL)	C1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND
	C5-1 ¹⁾	ND	ND	D	ND	ND	ND	ND	-
	C5-2 ²⁾	ND	ND	D	ND	D	D	D	-
	C8-1	ND	ND	ND	ND	ND	D	-	-
	C8-2	D	D	ND	ND	D	D	-	-
	C11	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	-
	F1	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND

Note) 1) -1 : First irradiation
 2) -2 : Secondary irradiation
 3) <1 : Not Detected(negative)
 4) ND : Not Detected(negative)
 5) D : Detected

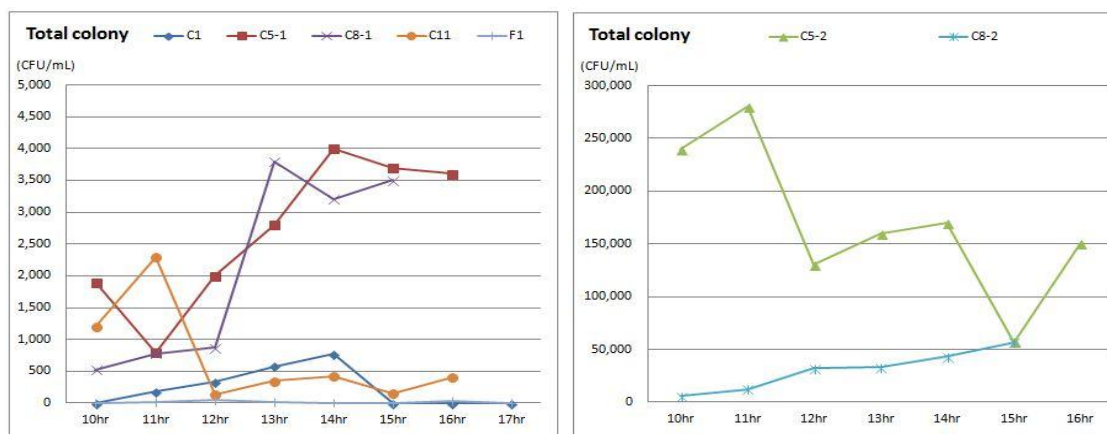


Fig. 8. Characteristics of total colonies.

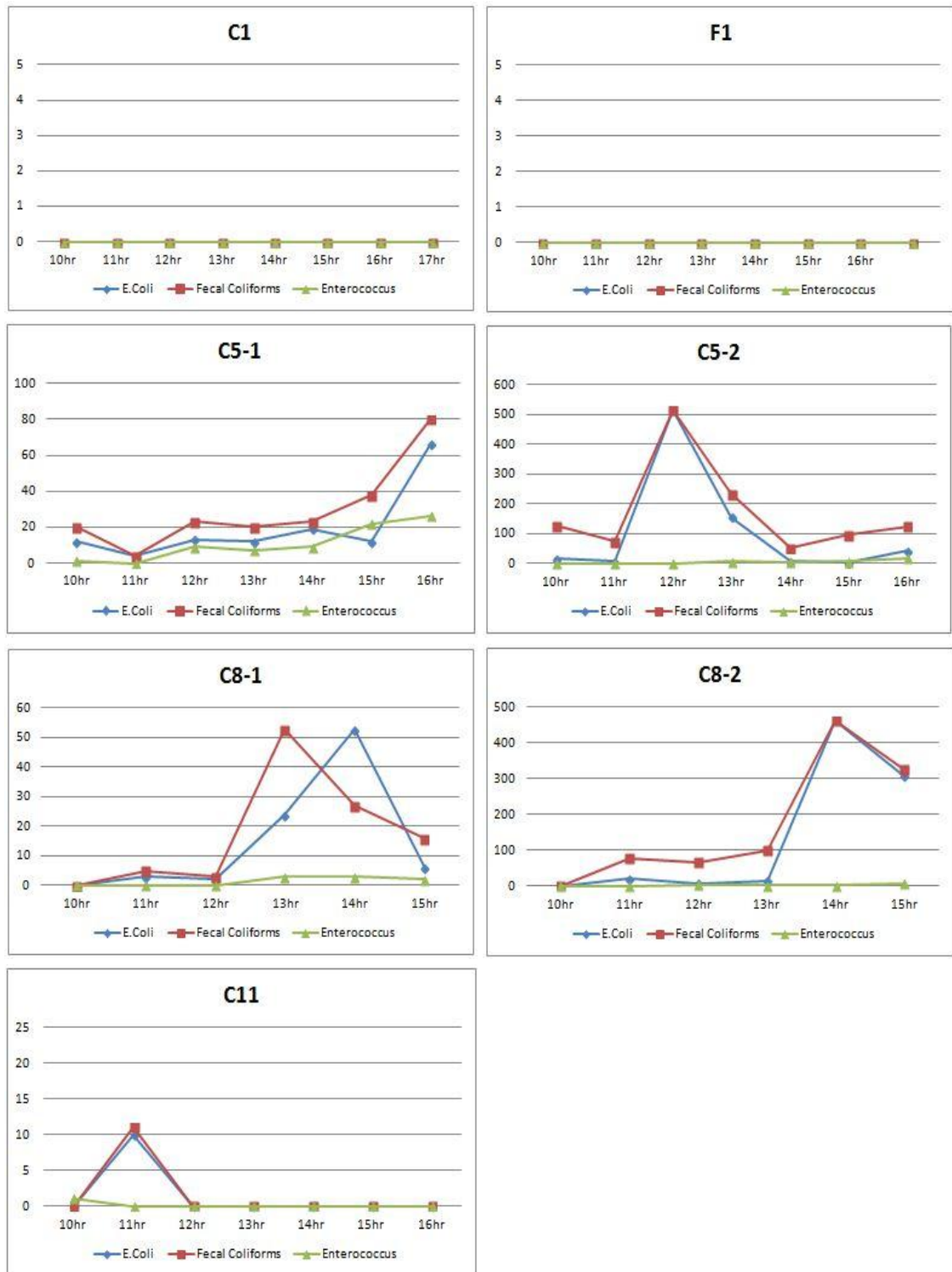


Fig. 9. Results of water quality parameters on microorganisms.

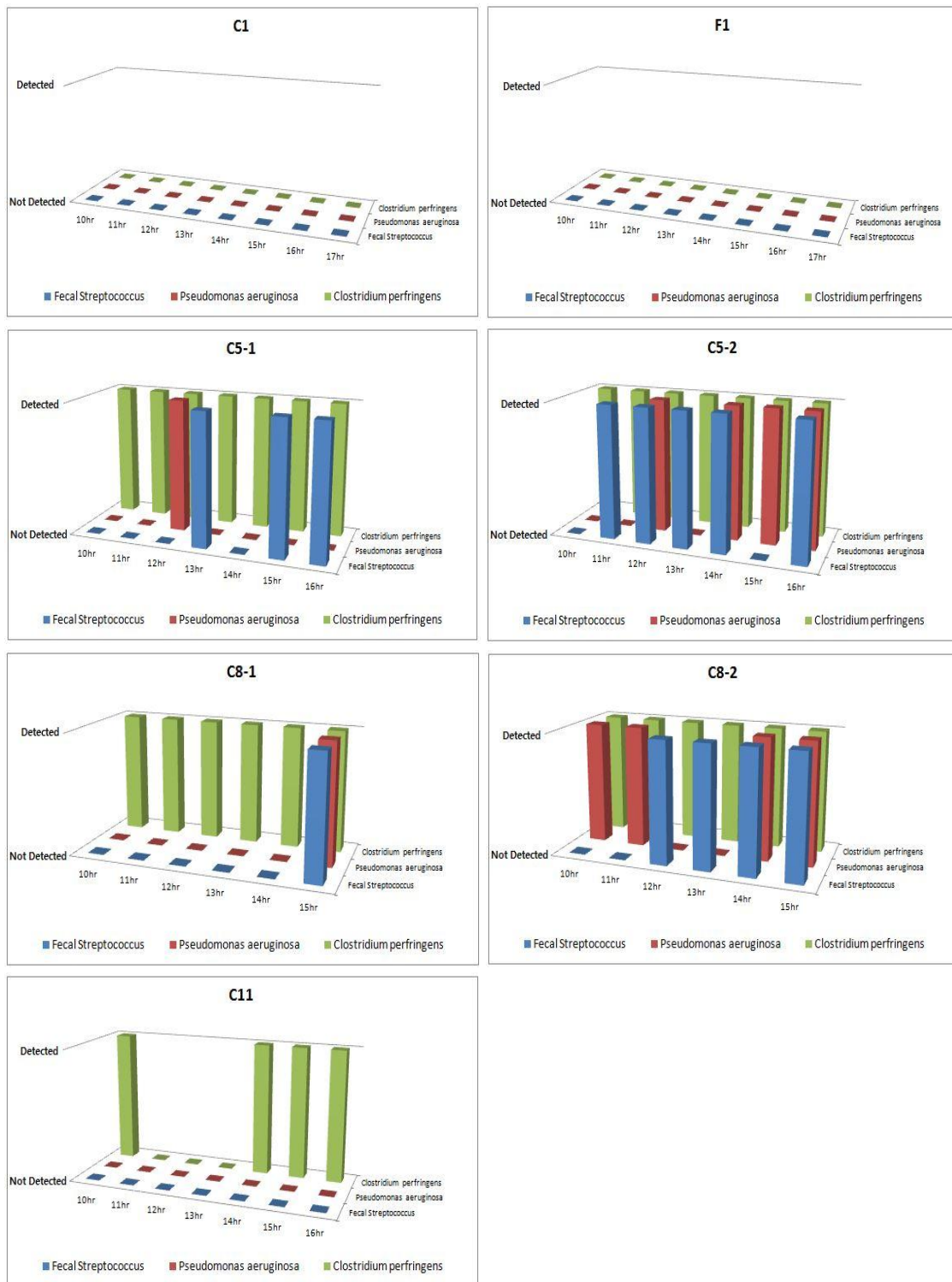


Fig. 10. Results of water quality parameters on microorganisms.

4. 시설종류별 오염분포

물놀이형 수경시설의 종류별 오염분포를 보고자 조합물놀이대와 바닥분수를 구분하여 각 항목당 평균 또는 합계를 내었으며, 그 결과는 Table 9와 Fig 11과 같다.

녹농균, 아황산환원혐기성포자형성균군, 분원성연쇄상구균은 검출된 합계를, 그 외 나머지 항목에서는 평균을 나타내었다.

이화학적 항목에서는 유기물오염의 지표인 탁도, NO₂-N, NH₃-N, KMnO₄, TOC 항목에서 조합물놀이대가 바닥분수보다 평균값이 약간 높았으며, pH, 잔류염소 항목은 바닥분수가 더 높았다. 미생물항목에서는 전항목이 최소 2배~최대 42배까지 조합물놀이대가 바닥분수보다 아주 높게 나타났다. 물놀이형 수경시설의 운영시스템을 보면 조합물놀이대 40분 가동 후 20분 휴식시간을 가지며, 휴식시간에 바닥분수를 가동하였다. 그리고 휴식시간에 가동하는 특성상 바닥분수 이용객수는 조합물놀이대에 비해 현저히 낮은 편이었다. 또한 대부분의 어린이들이 1차로 조합물놀이대를 이용한 후 2차 바닥분수를 이용하는 편이라 몸에 있던 땀, 분변 등의 유기물 질들이 조합물놀이대를 이용하면서 대부분 씻겨 나갔을것으로 판단된다.

Table 9. Concentrations of water quality parameters of waterscape facilities

	Type		Complex facilities	Floor fountain
	Category			
Average	pH		7.7	7.9
	Turbidity		1.17	0.73
	Residual Chlorine		0.07	0.14
	T-N		1.48	1.47
	NO ₂ -N		0.024	0.012
	NH ₃ -N		0.1	0.03
	NO ₃ ⁻ -N		0.9	1.1
	Cl ⁻		44.7	45.1
	KMnO ₄		5	2.9
	TOC		2.92	2.28
	THMs		0.013	0.017
	Total Colony	CFU/mL	61,377	27,124
	Enterococcus		44	4
	E. Coli	MPN/100mL	127	3
Fecal Coliforms		209	15	
Sum	Pseudomonas aeruginosa	/250mL	31	3
	Clostridium perfringens	/50mL	40	10
	Fecal Streptococcus	/250mL	36	4

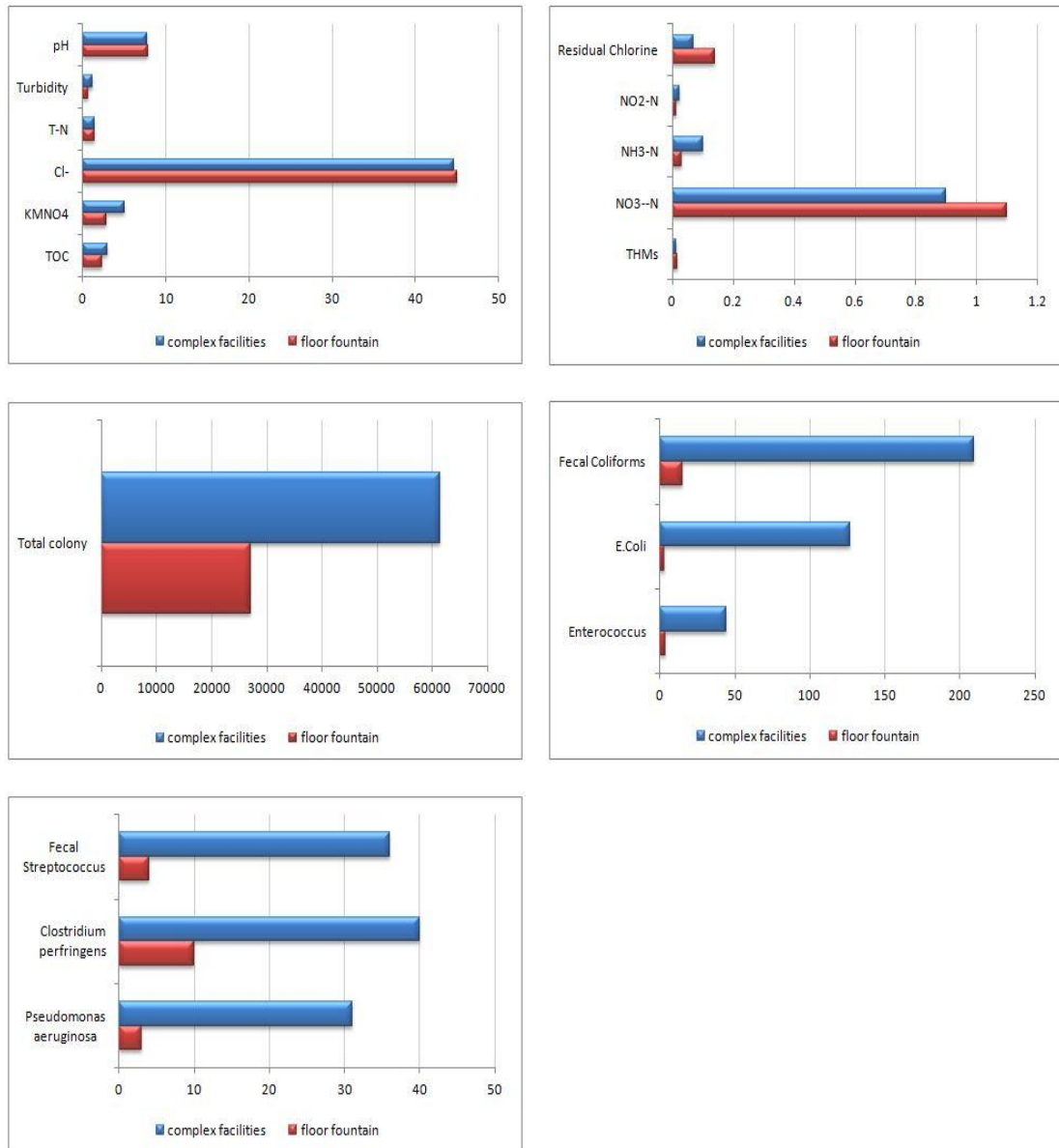


Fig. 11. Results of water quality parameters of waterscape facilities.

5. 시설 소독방법별 시간적 오염분포

물놀이형 수경시설의 소독방법에 따른 시간적 오염분포를 보고자 C1, C5, C8, F1 총 4개소를 선정하여 살펴보았다. 항목은 잔류염소, 과망간산칼륨 소비량, 일반세균 3항목을 비교해보았으며, 결과는 Fig 12에 나타내었다. 관내 수경시설에서 사용하고 있는 소독방법은 염소제(기계자동투입), 염소제(수동투입)+오존처리, 오존처리 등 3가지로 조사되었으며, 각 소독방법별 선정된 해당 수경시설은 Table 10과 같다.

Table 10. Disinfection method of each facility

Disinfection method	Chlorine	Chlorine+Ozone	Ozone
site	C1, F1	C5	C8

C1, F1 지점은 지속적인 자동 소독 시스템을 도입하여 일정시간마다 소독제가 자동 투입되었다. C1 지점은 시간이 지남에 따라 잔류염소가 점차 감소되었으며, 일반세균은 점차 증가하다 15시 이후로 검출되지 않았다. 과망간산칼륨 소비량은 점점 증가하다 16시 이후로는 먹는물 수질기준인 10 mg/L까지 이르렀다. F1 지점은 운영시간내내 잔류염소가 수경시설 기준인 0.4~4.0 mg/L로 유지되었으며 일반세균도 0~42 CFU/mL로 먹는물 수질기준인 100 CFU/mL를 만족하였다. 그러나 과망간산칼륨 소비량은 소폭 증가하여 먹는물 수질기준인 10 mg/L까지 이르렀다.

F1 지점은 과망간산칼륨 소비량이 많은 것으로 보아 이용객의 증가로 유기물이 다량 투입되었음을 알 수 있다. 그럼에도 불구하고 잔류염소, 일반세균은 먹는물 기준 이내로 유지되었는데 이는 염소제가 시간마다 자동투입되어 소독력이 유지된 것으로 판단된다.

C5 지점은 염소제와 오존처리를 같이하는 곳으로, 염소제는 관리인이 저수조에 하루 1~2회 약품을 직접 투입하는 수동방식으로 운영되었다. 잔류염소는 운영시간내내 수경시설 기준 이하로 기준을 만족하지 못하였으며, 과망간산칼륨과 일반세균은 운영시간이 지남에 따라 점차 증가하는 추세를 보였다. 또한 일반세균은 전횡수 먹는물 수질기준을 만족하지 못하였다.

C8 지점은 오존처리만 하는 곳으로 시간이 지남에 따라 과망간산칼륨소비량과 일반세균이 계속 증가하였다. 그리고 일반세균은 C5 지점과 마찬가지로 전횡수 먹는물 수질기준을 만족하지 못하였다.

0.5~1.5 mg/L의 유리염소 농도가 약 30분간 지속되면 거의 대부분의 바이러스가 비활성화된다는 Peterson의 연구결과처럼¹⁶⁾ 시설의 소독방법별 차이를 살펴본 결과 잔류염소만 기준 이내로 유지되어도 병원성 미생물이 비활성화 될 것으로 판단된

다. 그러나 수동방식으로 운영되는 곳은 저수량, 가동조건, 이용객수 등의 고려 없이 일괄적으로 하루 1~2회 투입(오전, 오후)되고 있는 실정이다. 휴대용 수질검사 측정기를 도입하여 하루중 수시로 잔류염소량 점검이 필요할 것으로 판단된다.

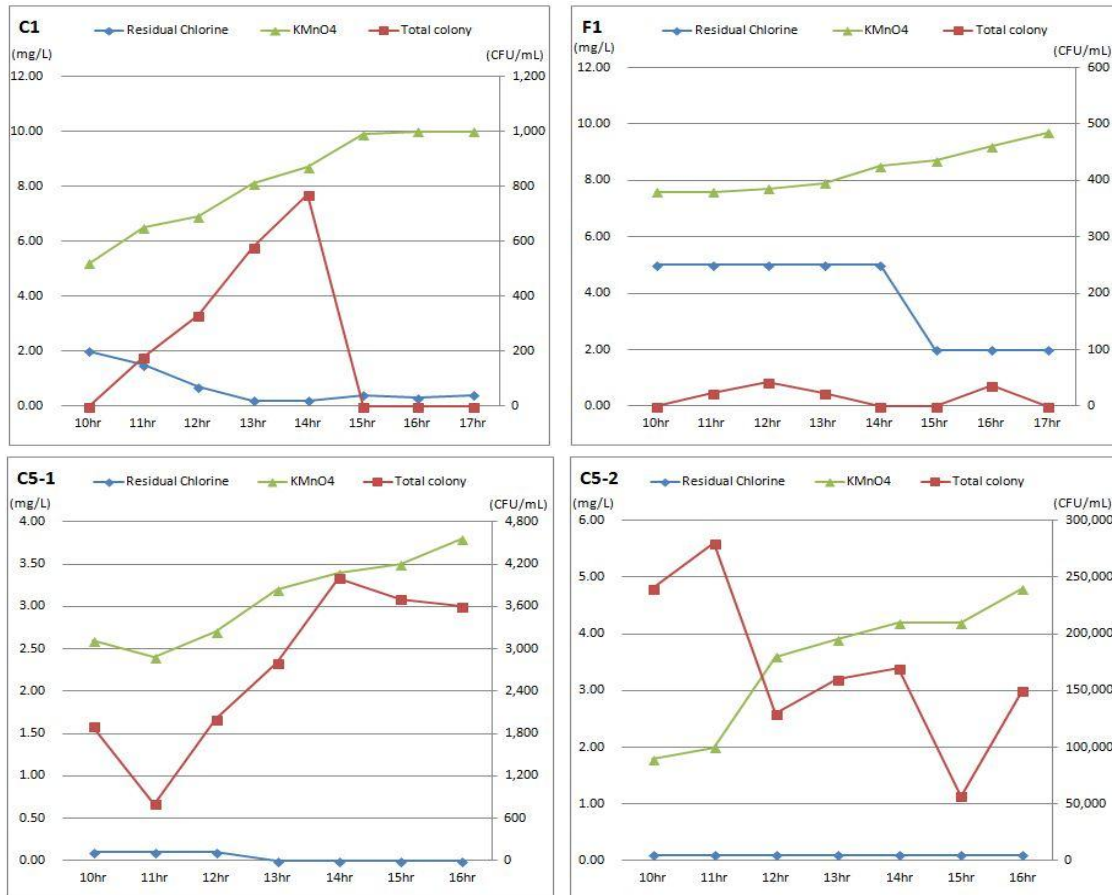


Fig. 12. Results of water quality parameters of waterscape facilities.

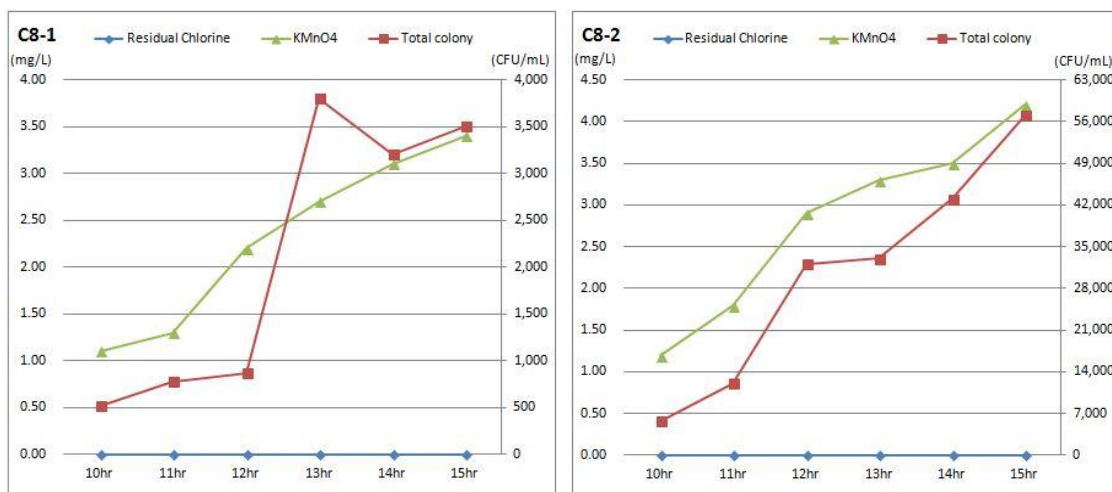


Fig. 12. Results of water quality parameters of waterscape facilities.

6. 오염물질 상관관계(통계)

본 연구에서는 SPSS statistical package(version 12.0)을 사용하여 상관관계를 분석하였으며, 집단 내 모평균 비교를 위해서는 일원배치 분산분석(One-Way ANOVA)을 활용하였고, 유의성 판정기준은 95% 신뢰수준으로 하였다.

상관관계 분석결과를 보면, KMnO_4 -TOC의 상관성이 0.920으로 가장 높게 나타났다. Enterococcus은 E.Coil과 0.905, Fecal Coliforms과 0.883, NO_2 -N와 0.735순으로 높은 상관성을 보였다.

NH_3 -N-Total Colony 0.741, Turbidity- KMnO_4 0.720, Residual Chlorine-THMs, Turbidity-TOC 각각 0.672의 상관성을 보였다. 수중의 유기물 농도가 높으면 미생물의 수치도 높은 것으로 나타났다.

Table 11. Correlation coefficients(R) of waterscape facilities

	pH	Residual Chlorine	Turbidity	KMnO ₄	NH ₃ -N	Cl ⁻	NO ₃ -N	TOC	T-N	NO ₂ -N	THMs	Total Colony	<i>E.coli</i>	Fecal Coliforms	Fecal <i>Streptococcus</i>	<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	<i>Enterococcus</i>	<i>Clostridium perfringens</i>
pH	1.000	-0.095	0.147	0.200	-0.004	0.086	0.137	0.200	0.375**	0.370*	-0.221*	0.108	0.162	0.203	0.207	0.087	0.130	0.223*
Residual Chlorine		1.000	0.037	0.123	-0.108	0.128	-0.158	0.257*	-0.116	-0.176	0.672**	-0.182	-0.117	-0.147	-0.350**	-0.333**	-0.118	-0.287**
Turbidity			1.000	0.720**	0.503**	0.359**	0.014	0.672**	0.540**	0.278	-0.075	0.483**	0.404**	0.428**	0.226*	0.099	0.419**	0.056
KMnO ₄				1.000	0.461**	0.318**	-0.131	0.920**	0.587**	0.306*	-0.016	0.338**	0.233*	0.226*	0.074	-0.111	0.248*	-0.181
NH ₃ -N					1.000	0.278**	0.034	0.269*	0.539**	0.095	-0.236*	0.741**	0.538**	0.511**	0.278**	-0.014	0.570**	0.087
Cl ⁻						1.000	-0.104	0.246*	0.166	0.409**	0.069	0.271**	0.195	0.234*	0.281**	0.063	0.247*	-0.001
NO ₃ -N							1.000	-0.193	0.525**	0.189	-0.183	0.090	-0.032	0.035	0.121	-0.090	0.021	0.283**
TOC								1.000	0.462**	0.138	0.173	0.153	0.093	0.083	-0.049	-0.152	0.099	-0.270*
T-N									1.000	0.509**	-0.288**	0.486**	0.258*	0.312**	0.223*	-0.124	0.290**	0.133
NO ₂ -N										1.000	-0.378**	0.418**	0.022	0.529**	0.452**	0.148	0.735**	0.224
THMs											1.000	-0.223*	-0.243*	-0.296**	-0.404**	-0.170	-0.234*	-0.305**
Total Colony												1.000	0.379**	0.369**	0.367**	-0.005	0.419**	0.195
<i>E.coli</i>													1.000	0.941**	0.323**	0.244	0.905**	0.221*
Fecal Coliforms														1.000	0.400**	0.289*	0.883**	0.277**
Fecal <i>Streptococcus</i>															1.000	0.349**	0.320**	0.350**
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>																1.000	0.206	0.300*
<i>Enterococcus</i>																	1.000	0.202
<i>Clostridium perfringens</i>																		1.000

Note) ** : statistically significant(P<0.01), * : statistically significant(P<0.05)

7. 수경시설의 효율적인 관리방안

가. 염소투입량

소독제 주입농도 및 시간의 흐름에 따른 일반세균 및 총대장균수의 변화를 살펴보기위해 유기물질이 많이 함유되어있는 하천수 시료를 이용하여 자테스트를 실시하였다. 소독제는 차아염소산나트륨을 희석하여 사용하였으며, 수온은 물놀이형 수경시설과 비슷한 환경인 28~29℃를 유지하며 실험하였다. 소독전 하천수의 일반세균은 1,180 CFU/mL, 총대장균군은 3,500 MPN/100mL였다.

자테스트 실시결과 일반세균은 잔류염소 0.6 mg/L 이상 유지하였을 때 먹는물 수질기준인 100 CFU/mL를 만족하였으며, 접촉시간이 증가할수록 감소하는 것으로 나타났다.

총대장균군은 잔류염소가 0.2mg/L 이상만 유지되어도 99.9%이상 감소되었으며, 0.4 mg/L 이상에서는 검출되지 않았다. 일반세균은 잔류염소 농도 0.6 mg/L 이상일 때, 총대장균군은 0.4 mg/L 이상일 때 염소소독의 안정성을 확인할 수 있었으며, 결과는 Table 11, 12, Fig 11과 같다.

나¹⁷⁾의 연구에 따르면 유리잔류염소 농도가 4 mg/L에서 0.4 mg/L까지 감소하는데 5시간이 소요되었으며, 수경시설을 7~8시간 가동할 경우 5시간 후에는 소독제를 재투입해야 한다고 하였다. 잔류염소는 일정시간이 지나면 휘발되는 특성이 있으며, 수경시설의 이용객이 많은 경우 소모속도가 빨라질 수 있다.²⁾ 잔류염소가 제거된 이후에는 세균의 증식이 시작될 것이고 일정시간이 지나면 수체의 대기접촉, 사람의 활동 등으로 세균의 수는 급격히 증가 할 것이므로¹⁰⁾ 하루중 수시로 잔류염소량 점검이 필요할 것으로 판단된다.

Table 12. Test results of jar test

Residual chlorine concentration (mg/L)	10 minutes contact		20 minutes contact		30 minutes contact	
	Total Colony (CFU/mL)	<i>E.coli</i> (MPN/100mL)	Total Colony (CFU/mL)	<i>E.coli</i> (MPN/100mL)	Total Colony (CFU/mL)	<i>E.coli</i> (MPN/100mL)
0.2	422	2	394	2	294	2
0.4	196	0	122	0	120	0
0.6	58	0	42	0	36	0
0.8	44	0	38	0	34	0
1.0	21	0	35	0	20	0
2.0	31	0	37	0	33	0
3.0	26	0	27	0	29	0
4.0	30	0	28	0	20	0

Note) Undiluted solution : Total Colony(1,180CFU/mL), *E.coli*(3,500MPN/100mL)

Table 13. Residual chlorine concentration by time period (unit : mg/L)

Residual chlorine concentration	immediately	10 minutes contact	20 minutes contact	30 minutes contact
0.2	0.10	0.04	0.03	0.00
0.4	0.17	0.10	0.08	0.05
0.6	0.34	0.20	0.18	0.13
0.8	0.49	0.35	0.30	0.25
1.0	0.84	0.64	0.55	0.53
2.0	1.54	1.41	1.33	1.28
3.0	2.50	2.30	2.15	2.14
4.0	3.50	3.24	3.18	3.14

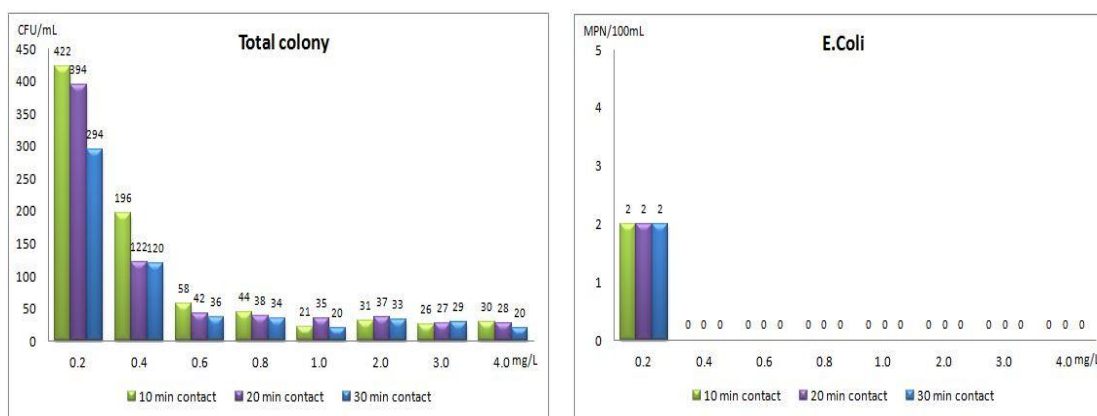


Fig. 13. Change of microorganism by residual chlorination injection concentration.

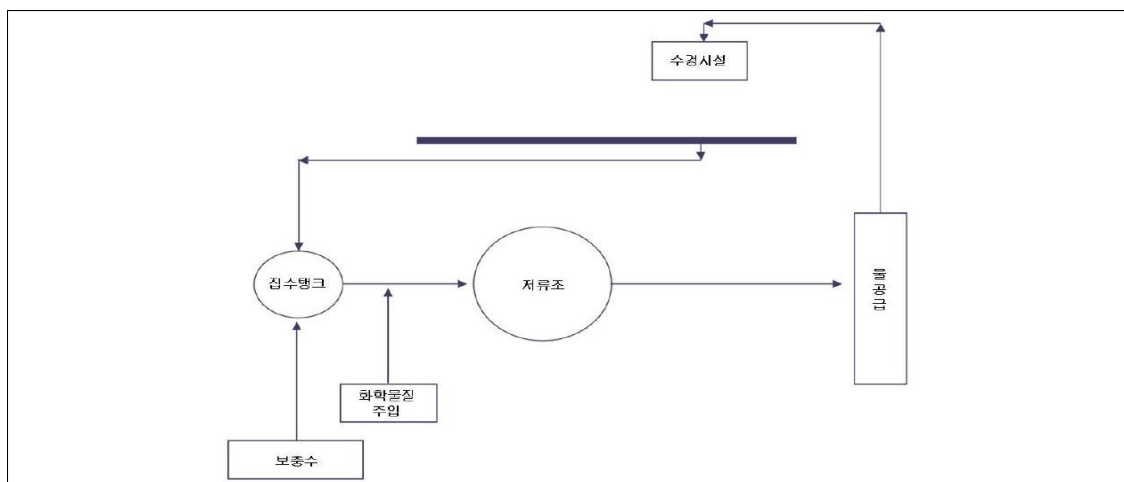
나. 위험요소 관리방법

물놀이형 수경시설의 미생물학적, 화학적 위험요소를 제거하기 위해서는 관리자와 이용자 모두의 노력이 필요하다. 먼저 이용객이 물놀이 전 위생에 주의한다면 물놀이 용수에 유입되는 미생물과 화학물질을 최소화 할 수 있다.

수영장은 시설이용 전 샤워를 하는 것이 일반적인 이용자 위생관리방법으로 수영 전 샤워를 통해 땀, 소변, 분변, 화장품 등을 씻어 내림으로써 잠재적인 미생물학적, 화학적 물오염원을 제거할 수 있다.⁷⁾ 그러나 물놀이형 수경시설은 주거지역과의 접근성이 좋고, 대부분 야외에 위치하고 있어 샤워를 하지 않고 수경시설을 이용하는 경우가 대부분이다. 안내문 등을 비치하여 이용객들이 집에서 아이를 샤워시킨 후 시설을 이용하도록 하거나, 수경시설내 샤워시설을 설치하여 샤워 후 시설을 이용하도록 장려하는 방안 등 이용객들의 위생에 관한 더 큰 인식과 주의가 필요하다. 그리고 수경시설내에 기저귀 교체가 가능한 화장실, 음수대, 배수경로가 다른 세족대도 설치하여야 한다.

또한 관리자는 수중 병원성 미생물 및 화학물질 농도를 인체에 위해를 가하지 않는 수준으로 유지해야 한다. Fig 14와 같이 수경시설의 물순환 과정에 여과 및 소독을 적용하고 깨끗한 물을 지속적으로 보충하여 위험요소를 감소시켜야 한다.⁷⁾

Fig 15와 같이 이용객이 입구 → 간이샤워기 → 바닥분수를 지나 물놀이형 수경시설에 도착하는 동선을 만든다면 미생물 위험요소가 감소될 것이다.



Note) source : Government of Western Australia(2010). "Health Requirements for Interactive Water Fountains" Annex

Fig. 14. Water circulation system.



Fig. 15. Location map of waterscape facilities.



Fig. 16. Simplicity shower bath.

다. 안내문 게시

이용객의 협조 없이는 관리자가 수질유지 위해 노력한다 할지라도 수질관리가 어려워진다. 따라서 시설과 인접한 곳이나 주 출입방향 전면 등 사람들 눈에 잘 띄는 곳에 경고문 및 안내문을 설치하여 이용객들의 부적절한 행동을 통제할 필요가 있다. Fig 12에서처럼 음용금지, 물놀이용 기저귀 착용, 수경시설 반경 1.8m내에서 기저귀 교체 금지, 대소변이나 침 뱉는 행위 금지, 음식물, 이물질(유리 등) 반입금지, 외출용 신발 금지(물놀이용 신발 착용), 애완동물 진입 금지, 구토·설사 증상이 있거나, 전염병·피부병이 있을 경우 이용금지 등의 내용을 게시하여야 한다.



Fig. 17. Examples of notices.

라. 법령개선

1) 적정 유리잔류염소 기준

외국의 수영장 수질기준을 살펴보면 소독제 종류별, 수온별, 용수의 안정·불안정 정도에 따라 잔류소독제 최소농도 기준치가 다르게 적용된다. Table 13을 살펴보면 수온이 높을수록, 용수가 안정된 상태일수록 유리잔류염소의 최소 기준치가 높게 적용되어 있으며, 수온이 높은 물은 낮은 물에 비해 유리잔류염소 최소농도 기준이 1.5 ~ 3배 가량 높았다.

물놀이형 수경시설은 기온 30℃가 넘는 여름철에 가동되며 이때의 평균 수온은 30℃에 가깝다. 30℃를 기준으로 외국의 유리잔류염소 최소농도 기준을 살펴보면 1.5 ~ 3.0 mg/L이다. 그리고 APSP(2009)¹⁸⁾에서 수중 병원성 미생물을 사멸시키기 충분한 염소량은 최소 1.0 mg/L라고 언급하였다. 이런 점을 고려한다면 우리나라의 유리잔류염소 최소농도 기준치를 0.4 mg/L에서 1.0 mg/L로 유지하는 것이 합리적이라 판단된다.

또한 텍사스주의 사례처럼 자동 소독장치 및 pH 조절장치를 갖출 것을 의무화한다면 물놀이형 수경시설에 지속적이고 효과적인 소독이 가능할 것이다.⁷⁾

Table 14. Country free residual chlorine minimum concentration standard of swimming pool water

British Columbia Canada	water temperature $\leq 30^{\circ}\text{C}$		water temperature $\geq 30^{\circ}\text{C}$	
	0.5 mg/L		1.5 mg/L	
Montrio Canada	unstable		stable	
	Minimum 0.5 mg/L		Minimum 1.0 mg/L	
Queensland Australia	water temperature $\leq 26^{\circ}\text{C}$		water temperature $\geq 26^{\circ}\text{C}$	
	1.5 mg/L		3.0 mg/L	
Western Australia	unstable		stable	
	water temperature $\leq 26^{\circ}\text{C}$	water temperature $\geq 26^{\circ}\text{C}$	water temperature $\leq 26^{\circ}\text{C}$	water temperature $\geq 26^{\circ}\text{C}$
	1.0 mg/L	2.0 mg/L	2.0 mg/L	3.0 mg/L

Note) source : 물놀이형 수경시설의 체계적 관리방안 연구(2013.5.), 환경부

2) 오존소독시설 기준검토

본 연구대상시설 17개소 중 소독방법별 분류를 해보면 염소소독 6개소, 염소소독과 오존소독 병행 5개소, 오존소독 6개소였다. 미생물 항목 분석결과를 소독방법에 따라 분류를 한 뒤 평균을 보면 Table 16, Fig 18과 같다.

일반세균, 분원성 연쇄상구균, 녹농균, 아황산환원혐기성포자형성균군은 오존소독 > 오존+염소소독 > 염소소독 순으로 높게 나왔으며, 분원성대장균, 대장균, 장구균은 오존+염소소독 > 오존소독 > 염소소독 순으로 높게 나왔다.

일반세균은 오존소독 하는 곳의 평균값이 염소소독 하는 곳보다 약 3.6배 가량 높게 나왔으며, 대장균은 약 10배 가량 높았다. 전체 항목별 오존소독과 염소소독 수치를 비교해보면 2~14배까지 높음을 볼 수 있는데, 오존소독이 염소소독에 비해 살균 효과가 확연히 떨어짐을 볼 수 있었다.

오존은 염소보다 수백배 빠른 살균능력을 가지고 있으며, 수중에서도 염소계 살균보다 7배의 살균력을 보유한다. 그러나 잔류성이 없어 효과의 지속성이 없는 것이 단점이다.²⁾ 2017년 1월부터 시행되고 있는 개정된 법률의 물놀이형 수경시설의 기준에서 유리잔류염소는 염소소독시에만 수질기준을 적용하도록 되어있다. 하지만 오존 등의 소독방법처럼 다른 소독방식에 의한 기준은 설정되어 있지 않아 병원성 미생물의 오염이 우려된다. 이에 우리나라도 오존소독 등의 다른 소독방법에서도 기준을 추가하여 관리할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

Table 15. Disinfection method of each facility

Disinfection method	Chlorine	Chlorine+Ozone	Ozone
Number	6	5	6
Site	C1~2, C11~12, F1, F4	C5~7, F2~3	C3~4, C8~10, F5

Table 16. Result by disinfection method of facilities

Disinfection method Category	Chlorine	Chlorine+Ozone	Ozone
Total Colony(CFU/mL)	26,515	27,558	95,877
Fecal Coliforms(MPN/100mL)	16	246	209
E. Coli(MPN/100mL)	9	184	94
Enterococcus(MPN/100mL)	3	54	43
Fecal Streptococcus(/250mL)	3	17	20
Pseudomonas aeruginosa(/250mL)	7	11	16
Clostridium perfringens(/50mL)	13	16	21

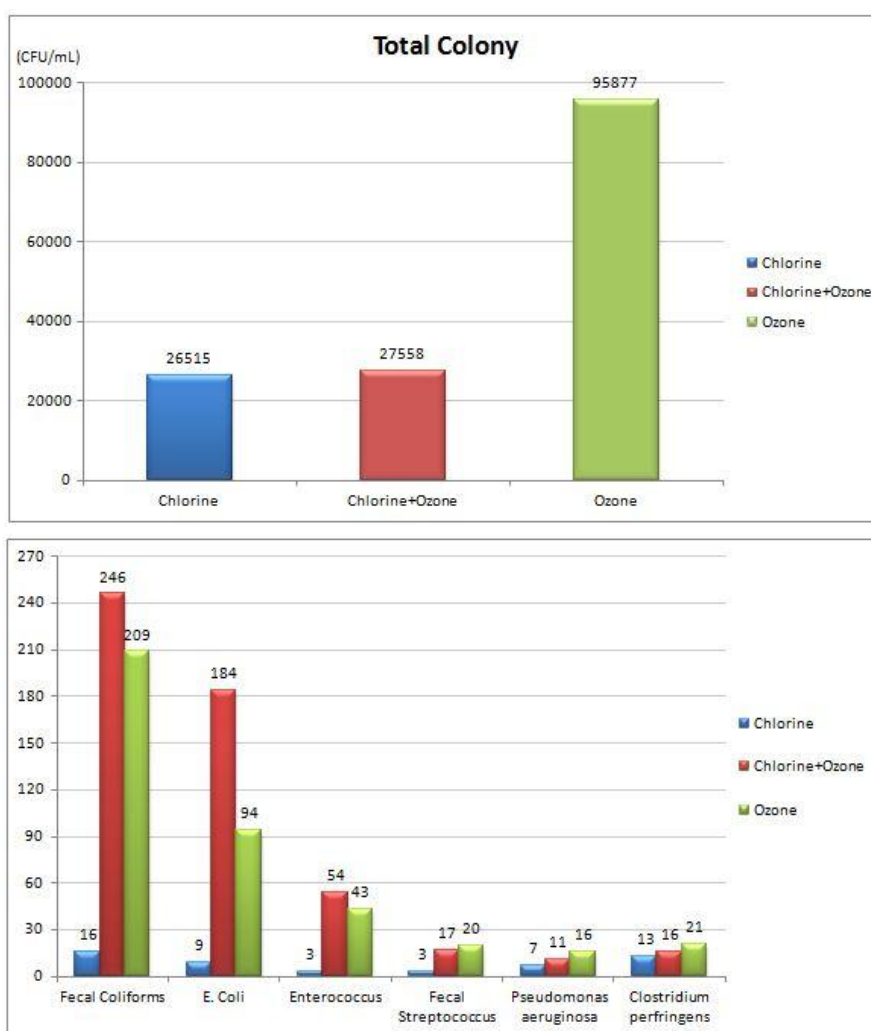


Fig. 18. Result by disinfection method of facilities.

3) 장구균 적용검토

물놀이형 수경시설 이용에 있어 인체에 위해를 가할 수 있는 가장 큰 위험요소는 수중 병원성 미생물이며, 병원성 미생물은 분원성미생물과 비분원성미생물로 구분할 수 있다. 물놀이형 수경시설의 경우 야외에 위치하고 있어 인체 분비물을 씻어 내리기 때문에 사람, 새, 쥐 등의 분변에 존재하는 분원성 미생물에 의한 오염 확률이 높다.⁷⁾ 현재 우리나라의 물놀이형 수경시설의 기준에서 미생물 항목은 대장균만 지정되어 있지만 외국에서는 장구균을 자연 위락용수(담수) 수질기준에서 지표미생물로 활용하고 있다. 외국의 위락용수 기준을 살펴보면 세계보건기구(WHO)에서는 장구균을 분변오염 지표항목으로 설정되어있고, 미국에서는 대장균 및 장구균 억제에 집중하여 수질을 관리하고 있다. 2012년 위락용수 수질 준거치(Recreational Water Quality Criteria)를 발표하여 기준치를 제시하고 있고,¹⁹⁾ 이 기준에 따라 위락용수 수질을 관리하고 있다. EU에서는 위락용수를 수영용수(bathing water)라고 하며 1976년 제정된 수영용수 규정¹⁶⁾에 의해 대장균 및 장구균 2항목을 우수, 양호, 충분, 미흡 4등급으로 분류하여 관리하고 있다. 이에 우리나라도 분변오염의 지표항목인 장구균을 추가하여 관리할 필요성이 있는 것으로 판단된다.

V. 결 론

물놀이형 수경시설에 대한 수질실태 파악 및 효율적인 수질관리 방안을 제시하기 위하여 관내 17개소를 대상으로 이화학적, 미생물학적 항목을 분석하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 관내 수경시설의 관리실태를 살펴본 바, 모든 시설이 상수를 원수로 이용하고 있었다. C1, C2, F1 지점은 원수를 재사용, 소독약품은 기계로 자동투입 하였으며, 나머지 지점은 원수 매일 교체, 소독약품 하루1~2회 수동 투입하였다. 청소는 일주일에 1회, 수질검사는 15일에 1회 이상 실시하고 있어 관리기준을 잘 준수하고 있는 것을 알 수 있었다.
- 2) 시설별 이화학적 수질특성 분석결과 유리잔류염소가 수경시설 기준 0.4~4.0 mg/L를 만족하지 못하여 미생물의 오염이 우려되었으며, 탁도, 암모니아성 질소, 과망간산칼륨 소비량이 먹는물 기준을 일부 초과하였다.
- 3) 시설별 미생물학적 수질특성 분석결과 일반세균은 F2지점을 제외한 전 지점에서 먹는물 기준을 초과하였으며, 전체 90회 조사 중 71회는 기준을 초과하였다. 살모넬라, 시겔라를 제외한 미생물 7항목((중온)일반세균, 대장균, 장구균, 분원성 대장균군, 분원성연쇄상구균, 아황산환원혐기성포자형성균, 녹농균)은 대부분의 지점에서 수경시설 기준 및 먹는물 수질기준을 초과하는 것으로 나타났다.
- 4) 시간적 오염분포 분석결과 이용객이 많아질수록 pH, 탁도, T-N, NO₂-N, NH₃-N, KMnO₄, TOC가 증가하였으며, 시설규모가 크고 이용객이 많은 시간대에 더 큰 증가폭을 보였다. 나머지 이화학적 항목들은 큰 변화가 없었다.
C1, F1 지점은 모든 미생물 항목(일반세균 제외)이 불검출, C5, C8, C11 지점은 대부분의 미생물 항목이 검출되었다.
- 5) 시설종류별 오염분포 조사결과 탁도, NO₂-N, NH₃-N, KMnO₄, TOC 항목은 조합물놀이대가 바닥분수보다 평균값이 약간 높았으며, pH, 잔류염소 항목은 바닥분수가 더 높았다. 미생물항목에서는 조합물놀이대가 최소 2배~최대 42배까지 높게 나타났다.
- 6) 상관관계 분석결과, KMnO₄-TOC의 상관성 0.920, Enterococcus은 E.Coil과 0.905, Fecal Coliforms과 0.883, NO₂-N와 0.735순의 상관성을 보였다. NH₃-N-Total Colony 0.741, Turbidity-KMnO₄ 0.720, Residual Chlorine-THMs, Turbidity-TOC 각각 0.672의 상관성을 보였다. 수중의 유기물 농도가 높으면 미생물의 수치도

높은 것으로 나타났다.

- 7) 자테스트 실시결과 일반세균은 잔류염소 0.6 mg/L 이상일 때, 먹는물 기준 100 CFU/mL를 만족하였으며, 접촉시간이 증가할수록 감소하였다. 총대장균군은 잔류염소 0.2 mg/L 이상일 때 99.9%이상 감소, 0.4 mg/L 이상에서는 검출되지 않았다.
- 8) 위험요소 관리방법으로 관리자는 인체에 위해를 가하지 않는 수준의 수질을 유지하는 것이 중요하며, 이용객들은 위생에 관해 주의하여 샤워 후 시설을 이용하는 것이 바람직하다. 이용객이 시설 이용시 입구 → 간이샤워기 → 바닥분수를 지나 수경시설에 도착하는 동선으로 만든다면 미생물 위험요소가 감소될 것이다.
- 9) 평균 수온 30℃ 기준으로 외국의 유리잔류염소 최소농도 기준은 1.5~3.0 mg/L이며, 수중 병원성 미생물을 사멸시키기 충분한 염소량은 최소 1.0 mg/L(APSP(2009)¹⁸)이다. 우리나라의 유리잔류염소 최소농도 기준치를 0.4 mg/L에서 1.0 mg/L로 법령을 개선하는 것이 합리적이라 판단된다.
- 10) 소독방법별 조사결과 미생물 7항목에서 오존소독이 염소소독보다 2~14배 높았고, 오존소독이 염소소독에 비해 살균효과가 확연히 떨어짐을 볼 수 있었다. 유리잔류염소 항목은 염소소독시에만 수질기준을 적용하도록 되어있어 오존소독 등의 다른 소독방법에서도 기준을 추가하여 관리할 필요성이 있다.
- 11) 분원성 미생물에 의한 오염 확률이 높은 물놀이형 수경시설의 특성상 수인성 위장질환 발병의 훌륭한 예측인자인 장구균을 물놀이형 수경시설기준에 추가하여 관리할 필요성이 있다.

참고문헌

1. 강한민 : 공동주택단지 수경시설의 현황조사를 통한 제도개선(2011.8)
2. 환경부 : “물놀이형 수경시설 운영관리 가이드라인” (2017.3.)
3. Nett RJ, Toblin R, Sheehan A, Huang WT, Baughman A, Carter K. Nonhygienic behavior, knowledge, and attitudes among interactive splash park visitors. J Environ Health. 2010; 73(4): 8-14.
4. 환경부 : “물놀이형 수경시설의 수질관리지침” (2010.8)
5. 환경부 : 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률 시행규칙 [별표 19의2]
6. 윤상훈 외 7 : 물놀이형 수경시설의 수질과 항생제 내성 대장균 분포에 관한 연구, 광주광역시 보건환경연구원(2014)
7. 최지용 외 7 : 환경부, 물놀이형 수경시설의 체계적 관리방안 연구(2013.5.)
8. 환경부 : 환경부고시 제2015-214호, 먹는물수질공정시험기준 (2015.11.)
9. 환경부 : 환경부고시 제2014-163호, 수질오염공정시험기준 (2014.9.)
10. 안태석 외 3 : 환경부, 수경시설 수질관리방안 연구(2010.7.)
11. 상수도연구·검사기관협의회 : 상수도 수질항목 해설집(2010)
12. 환경부 : “세계보건기구(WHO) 먹는물 수질관리 지침서” (1998)
13. 유은희 외 5 : 부산시내 물놀이형 수경시설 수질특성 및 관리항목 개선에 관한 연구, 부산광역시보건환경연구원(2014)
14. 박석기 외 2 : 먹는물의 수질관리, 동화기술(1998)
15. 김정아 외 4 : 물놀이분수의 수질실태 조사에 관한 연구, 대전광역시 보건환경연구원(2012)
16. Swimming Pool and Water Recreation Facilities Ordinance(USA, 2012)
17. 나경호 외 3인 : 수질기준 법제화에 따른 물놀이형 수경시설의 수질관리방안 연구, 경기도보건환경연구원(2017.7)
18. APSP.2009."AmericanNationalStandardforWaterQualityinPublicPoolsandSpas." TheAssociationofPoolandSpaProfessionals:Alexandria,VA
19. Bathing Water Directive, 76/160/EEC

영문요약

Waterscape facility is Artificial facilities such as fountains, ponds, waterfalls, and streamlets that artificially store and circulate tap water, ground water. Of these facilities, play type waterscape facility is a facility where is open to the public and installed to enable water play. These facilities are rapidly nationwide because it have good accessibility and the less risk of water safety accidents. Thus it was applied E. coli, pH, turbidity, free residual chlorine (only applied to chlorine disinfection) to the water quality standards of play type waterscape facility in 2016. However, we should review whether the amended legal standards are actually valid or not because children as primary users enjoy drinking water while they play and their immunity is weaker than adults. Therefore, in this study in order to confirm the hygienic safety of the waterscape facilities, measure the water quality of waterscape facilities by measuring water quality items of drinking water additionally and try to propose solution for ensuring the hygienic safety of users of play type waterscape facilities in Ulsan.

<Conclusion>

1. To ensure the hygienic safety of the waterscape facility, it is best to maintain the free residual chlorine concentration in water
 - therefore, need application free residual chlorine standard applied to chlorine disinfection only to other disinfection methods, It is recommended to use combination of several disinfection methods rather than one disinfection method such as ozone disinfection + chlorine disinfection.
 - Because free residual chlorine minimum concentration standard for foreign countries from 1.5 to 3.0 mg/L at 30°C(average water temperature) and sufficient chlorine content to kill the pathogenic microorganisms is at least 1.0 mg/L(APSP(2009)), it is necessary to revise the domestic free residual chlorine minimum concentration standard from 0.4 mg/L to 1.0 mg/L.
2. Currently microbial standards of paly type waterscape facility are specified

only for E. coli, But this study's results indicate that the probability of contamination by pulmonary microorganisms is high. Therefore, it is suggested that It is necessary to add enterococci, which are indicators of waterborne gastrointestinal diseases, to standards of waterscape facility and manage it.

In other words, in order to ensure the hygienic safety of paly type waterscape facility, it is necessary to expand application of free residual chlorine standard. Also, it is necessary to add enterococci to measurement item, and to check the waterscape facility regularly.