최근 10년간 한강 취수원수의 크립토스포리디움 및 지아디아 분포 특성

(A Ten-year Survey of Cryptosporidium Oocysts and Giardia Cysts in Intake Water of the Han River)

장현정 · 조은주 · 한지선 · 김새봄 · 이희진 · 이은숙 · 최병도 · 차영섭 · 김복순

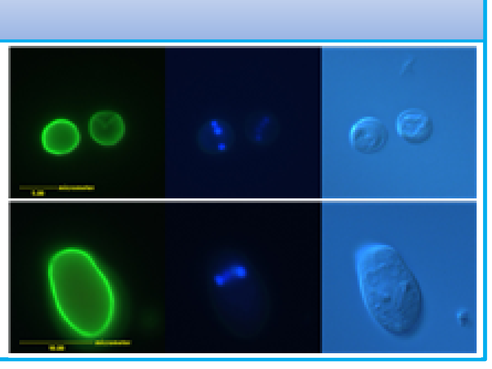
서울특별시 서울물연구원(Seoul Water Institute)

INTRODUCTION

・크립토스포리디움과 지아디아는 복통을 동반한 설사병을 일으키는 병원성 원생동물로 체내의 장관계통에서 기생하여 증식하다가 분변으로 배출되며, 이때 두꺼운 벽으로 둘러싸인 (난)포낭 형태로 배출되어 환경에서 수개월까지 생존하여, 소독제에 대한 저항성이 매우 강해 정수처리과정에서 제거해야 될 주요한 미생물로 관리되고 있다. 국내에서는 수도법에 의해 지아디아는 탁도와 소독능 관리로 99.9%, 크립토스포리디움은 탁도 관리로 99% 제거하도록 정수처리기준으로 규정하고 있다.

・그동안 서울시는 왕숙천의 영향을 많이 받는 구의취수장을 한강 상류에 위치한 강북취수장으로 2015년 이전하여 보다 양질의 원수를 5개 취수원에서 공급하고 있고, 2010년 영등포 정수센터에 고도정수처리공정인 오존-활성탄공정 도입을 시작으로 2015년까지 6개 정수센터 모두 도입을 완료하였다.

・이에 따라 본 과제에서는 2009년부터 2018년까지 최근 10년간 서울시 6개 취수원수 및 6개 정수센터의 정수를 대상으로 병원성 원생동물인 크립토스포리디움과 지아디아에 대한 분포 특성을 조사하고, 이들 원생동물과 수질요인과의 상관성을 파악하였다. 또한 최근 10년간 6개 정수센터의 정수처리운영기준(탁도 및 소독능) 관리현황을 확인하여 향후 상수원 관리 및 정수처리 운영 기술 향상을 통한 병원성 원생동물 감시강화에 활용하고자 하였다.



METHODS

❖ 연구대상 및 개요

< 서울시 5개 취수장 위치, 2019년 11월 >

- 분석대상
  - 서울시 6개 취수장 시료 222건 (팔당, 강북, 암사, *구의, 자양, 풍납)
    * 구의취수장은 2015년 강북으로 이전되어 2014년 2분기까지 분석
  - 서울시 6개 정수센터 시료 182건 (광암, 강북, 암사, 구의, 뚝도, 영등포)
    * 원수에서 10 (난)포낭/10 L 이상 검출 시 확인된 시점부터 2개월간 월2회 정수검사 실시
- 분석기간 : 2009년 ~ 2018년(10년)
- 분석주기 : 분기별
- 분석항목
  - 병원성원생동물 : 지아디아, 크립토스포리디움
  - 수질환경요인 : 수온, pH, 탁도, 총질소, 암모니아성질소, 총대장균군, 분원성대장균군, 강우량 등
  - 정수센터 운영자료 : 정수처리운영기준 항목(탁도, 소독능)

❖ 원생동물 분석 절차

1단계 • 시료 채수(서울시 6개 취수원에서 원수 10 L씩, 6개 정수센터에서 정수 100 L씩 채수)

2단계 • 시료 여과(캡슐필터 여과) → 추출(950 rpm 5분 3회) → 농축(원심분리 1500g, 15분)

3단계 • 면역자기 분리(원생동물에 특이적인 항체와 결합한 자기체로 (난)포낭 결합체 형성

4단계 • 면역형광항체염색(형광물질(FITC)로 표지된 항체로 세포막 염색 및 핵염색제(DAPI)로 핵염색

5단계 • 현미경 관찰(400배 이상에서 FITC 및 DAPI 관찰, 1000배 이상에서 DIC 관찰)

RESULTS AND DISCUSSION

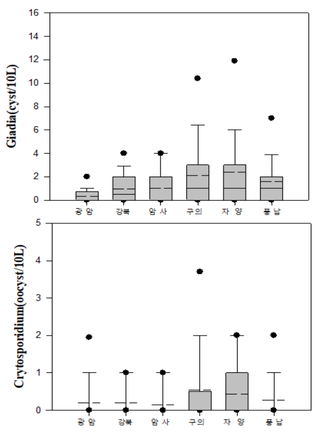
▪ 최근 10년간 취수원수의 원생동물 검출 현황

항목	검출율 및 농도	
	과거 20년(2000~2009년)	과거 10년(2009~2018년)
지아디아	35.0% (1.7 포낭/10 L)	51.4% (1.4 포낭/10 L)
크립토스포리디움	22.5% (0.7 난포낭/10 L)	19.4% (0.3 난포낭/10 L)

- 6개 취수원수의 원생동물 검출율은 지아디아 51.4%(114/222건), 크립토스포리디움 19.4%(435/222건)
- 평균 검출농도는 지아디아 1.4 포낭/10 L(0~18), 크립토스포리디움 0.3 난포낭/10L(0~4)로 낮은 수준임
- 양성시료 평균은 지아디아 2.6 포낭/10 L, 크립토스포리디움 1.4 난포낭/10 L 임
- 과거 20년(2000~2009년)과 비교할 때 크립토스포리디움은 검출율, 평균농도, 최대값 모두 감소하였고, 지아디아는 양성율은 증가(35.0% →51.4%) 하였으나 평균농도와 최대값 모두 감소함

▪ 최근 10년간 취수원수 지점별 원생동물 분포 변화(시료수=222)

지점	지아디아				크립토스포리디움			
	검출율 (%)	평균 (포낭/10L)	범위 (포낭/10L)	>10개체 이상/10L 검출횟수	검출율 (%)	평균 (난포낭/10L)	범위 (난포낭/10L)	>10개체 이상/10L 검출횟수
광암	25.0	0.4	0~3	0	15.0	0.2	0~2	0
강북	50.0	1.0	0~5	0	17.5	0.2	0~2	0
암사	42.5	1.0	0~5	0	15.0	0.2	0~1	0
구의	63.6	2.1	0~11	1	22.7	0.5	0~4	0
자양	67.5	2.4	0~18	3	27.5	0.4	0~3	0
풍납	65.0	1.6	0~10	1	20.0	0.3	0~2	0

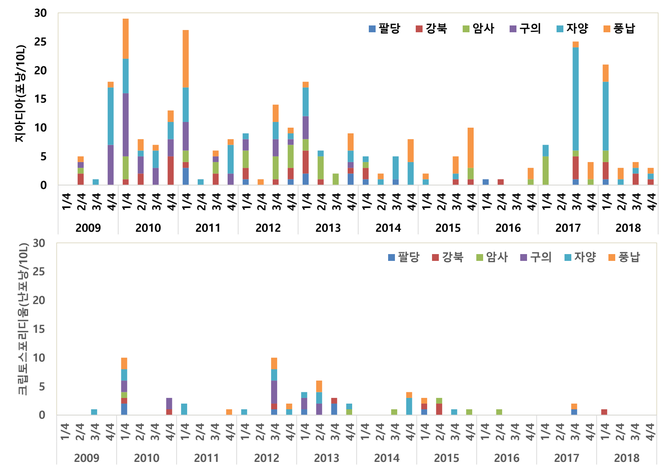


- 지아디아는 한강 상류에 위치한 팔당에서 가장 낮았고, 왕숙천 하류에 위치한 자양과 성내천 인근에 위치한 풍납에서 높게 나타남
- 크립토스포리디움은 상류에 위치한 광암, 강북, 암사에서 낮고 하류에 위치한 자양, 구의, 풍납에서 다소 증가하였으나 지점별 차이는 크지 않고 오염도도 낮았음
- 하류에 위치한 자양(구의)과 풍납에서 원생동물 농도가 높은 원인 중 하나는 인근 지천인 왕숙천과 성내천의 영향으로 추정됨
- 취수원에 미치는 지류천의 영향을 조사하기 위해 2012년~2014년 취수장 인근에 위치한 경안천, 실개천, 왕숙천, 성내천을 분기별로 조사한 결과 취수원에 비해 지천에서 지아디아는 8.4배, 크립토스포리디움은 6.8배 높은 수준으로 검출되었음

▪ 최근 10년간 취수원수의 기간별 원생동물 분포 변화(시료수=222)

지점	지아디아				크립토스포리디움			
	검출율 (%)	평균 (포낭/10L)	범위 (포낭/10L)	>10개체 이상/10L 검출횟수	검출율 (%)	평균 (난포낭/10L)	범위 (난포낭/10L)	>10개체 이상/10L 검출횟수
1분기	64.3	2.1	0~12	3	26.8	0.4	0~2	0
2분기	32.1	0.5	0~4	0	10.7	0.2	0~2	0
3분기	48.2	1.3	0~18	1	21.4	0.3	0~4	0
4분기	58.9	1.6	0~10	1	17.9	0.2	0~3	0
총계	50.9	1.4	0~18	5	19.2	0.3	0~4	0

- 지아디아의 계절별 분포는 1분기 검출율(64.3%)이 다른 기간(32.1~58.9%)에 비해 높았고, 크립토스포리디움도 1분기검출율(26.8%)이 타시기(10.7~21.4%)에 비해 높게 나타남
- 연도별 분포를 살펴보면 지아디아와 크립토스포리디움 모두 2010년 이후 감소하는 추세를 보였으나, 지아디아는 2017년 홍수기와 2018년 갈수기에 특히 자양에서 높아지는 사례가 있었음



▪ 원생동물과 수질요인과의 상관관계

항목	탁도	pH	암모니아성질소	총질소	총대장균군	분원성 대장균군	총유기탄소	당일 강우량
지아디아	0.008	0.118	0.264	0.303	0.372	0.314	-0.069	-0.083
크립토 스포리디움	0.105	0.019	-0.013	0.133	0.184	0.200	-0.010	-0.056

- 지아디아는 분변오염 지표인 총대장균군(r=0.372), 분원성대장균군(r=0.314), 총질소(r=0.303)와 낮은 상관성을 나타냈으나, 탁도, pH, 총유기탄소, 강우량과는 상관성을 보이지 않음
- 지아디아가 10 포낭/10 L 이상 검출된 경우, 총대장균군은 400 CFU/100 L 이상(기하평균 = 2,300 CFU/100 L), 분원성대장균군은 10 CFU/100 L 이상(기하평균 280 CFU/100 L) 검출됨

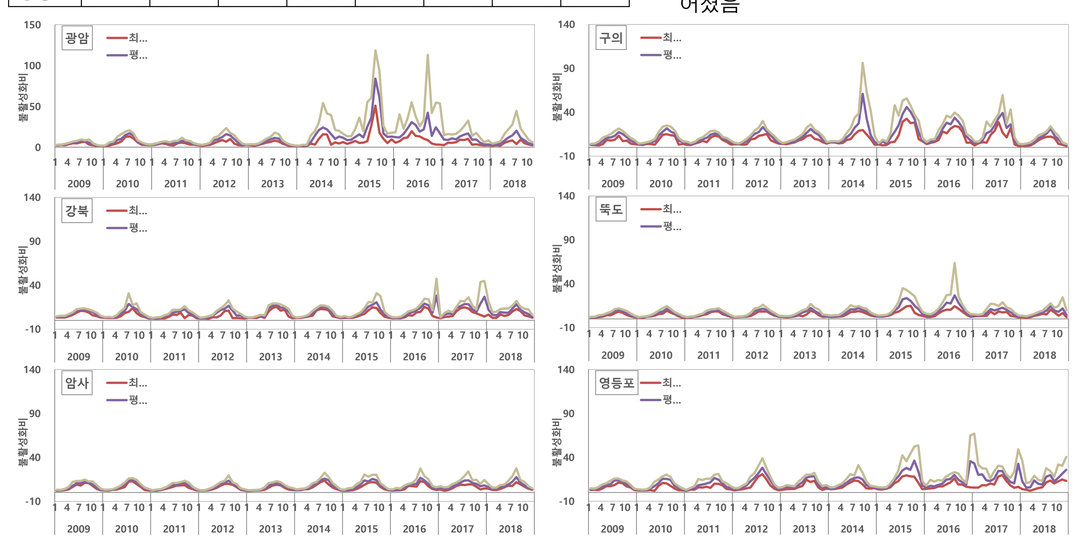
▪ 정수센터별 '월평균값' 기준 원생동물 평균 불활성화비 및 탁도(2009~2018년)

지점	평균 탁도				평균 불활성화비			
	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대
광암	0.05	0.01	0.04	0.07	10.7	11.1	1.7	83.9
강북	0.04	0.01	0.03	0.07	9.0	5.5	2.4	28.2
암사	0.05	0.01	0.03	0.06	7.3	4.0	2.2	17.5
구의	0.04	0.01	0.02	0.06	13.3	10.2	2.4	60.9
뚝도	0.05	0.01	0.04	0.07	7.2	4.9	1.9	26.8
영등포	0.05	0.01	0.03	0.08	12.0	7.6	2.5	36.4

▪ 정수센터별 '월최소값' 기준 원생동물 평균 불활성화비 및 '월최대값 기준' 통합여과수 탁도(2009~2018년)

지점	최대 탁도				최소 불활성화비			
	평균	표준편차	최소	최대	평균	표준편차	최소	최대
광암	0.06	0.01	0.04	0.11	5.9	5.9	1.1	50.8
강북	0.06	0.01	0.04	0.10	6.1	3.9	1.8	15.4
암사	0.06	0.01	0.04	0.09	5.6	3.2	1.9	13.7
구의	0.05	0.01	0.03	0.12	9.0	6.8	1.5	32.6
뚝도	0.06	0.01	0.04	0.13	4.9	3.1	1.3	15.0
영등포	0.06	0.01	0.01	0.12	7.5	4.7	1.8	20.8

- 최근 10년(2009~2018년) 동안 6개 정수센터 모두 통합여과수탁도 기준을 만족하였음
- 6개 정수센터 통합여과수 탁도는 평균 0.04~0.05 NTU이고, 월 최대값 기준 최대 탁도도 0.9~0.13 NTU로 모두 기준치인 0.3 NTU 이하를 만족하였음
- 2009~2018년 6개 정수센터 모두 원생동물 소독능을 충족하였음
- 최근 10년간 원생동물 불활성화비는 평균 7.2~13.3로, 기준치인 1 이상을 모두 만족하였고, 2014년 이후에는 전반적으로 높아지는 경향을 보였음
- 겨울철에는 낮은 수온과 높은 pH의 영향으로 소독효율이 낮아지고, 반대로 여름철에는 증가하는 계절적 특성변화를 보였으나 겨울철에도 월최소기준 불활성화비 최소값은 1.1~1.9로 소독처리가 효과적으로 이루어졌음



CONCLUSIONS

1) 서울시 취수원의 원생동물 검출농도는 지난 20년에 비해 최근 10년간 감소 추세이나 자양에서 2017년~2018년 봄철 초기 강우시기와 하절기 집중 강우 직후에 오염도가 높아지는 사례가 있었음
2) 원생동물은 1분기(동절기)에 가장 높게 검출되었고, 분변오염 지표세균과 낮은 상관성을 보여, 원생동물이 높게 검출된 경우에는 (분원성)대장균군도 높은 경향을 나타냈으나 다른 수질요인과는 뚜렷한 상관성을 보이지 않았음
3) 인근 도시하수의 유입은 지천 하류에 위치한 취수원의 원생동물 오염에 영향을 주는 발생원으로 추정되었음
4) 6개 정수센터 모두 원생동물을 효과적으로 제거하는 것으로 확인되었으나, 특히 동절기에 수온의 감소와 pH의 증가에 따른 불활성화비 변동에 지속적인 관심과 주의가 필요한 것으로 나타났음

REFERENCES

1. M. Y. Lee, E. J. Cho, J. H. Lee, S. H. Han and Y.S. Park, A Survey of Cryptosporidium Oocysts in Water Supplies during a 10-Year Period (2000-2009) in Seoul, Korean J. Parasitol., 2010, 48, 219-224.
2. M. Y. Lee, E. J. Cho, J. H. Lee, S. H. Han and Y.S. Park, A Ten-year Survey of Giardia Cysts in Drinking Water Supplies of Seoul, the Republic of Korea, Korean J. Parasitol., 2011, 49, 9-15.
3. 조은주, 김성택, 장현정, 황동연, 함영국, 김복순, 원생동물 관리방안 제시를 위한 서울시 취수원수에서 크립토스포리디움 및 지아디아 정밀조사(II), 서울물연구원 연구과제 보고서, 2015.

hjjangss@seoul.go.kr