Journal of Korean Society on Water Quality, Vol. 22, No. 2, pp.271-276 (2006)

국내 주요 수계 내 원생동물의 분석과 매질의 영향

정현미† · 오덕화

국립환경과학원

Cryptosporidium and *Giardia* (oo)cysts in Korean Rivers and the Effect of Sample Matrix

Chung, Hyenmi† · Oh, Dukwha

National Institute of Environmental Research

(Received 14 October 2005, Accepted 16 December 2005)

Abstract

The outbreak cases of *Cryptosporidium* or *Giardia* from drinking water in abroad have drawn attentions on the public health. It is well known that *Cryptosporidium* is the most resistant organism against chlorine disinfection. To guesstimate the levels of *Cryptosporidium* and *Giardia* in Korean surface water, 1～2 samples from 22 drinking water sources in four Korean major rivers of Han, Keum, Nakdong, and Youngsan were monitored. In addition, two sites in Kyunganchon, a contaminated river were monitored for comparison. In source waters, detection rates of *Cryptosporidium* and *Giardia* were 15% (6/39) and 21% (5/24) with the range of 1～3 oocysts/10 L and 1～6 cysts/10 L, respectively. In Kyunganchon, they were 60% (6/10) and 70% (7/10) in the range of 1～9 oocysts/10 L and 10～72 cysts/10 L, respectively. When one of the source waters in Han river was monitored monthly, *Cryptosporidium* were found mostly in cold season. Matrix of the samples gave influence on the recoveries of the spiked protozoa. The recoveries of both *Cryptosporidium* and *Giardia* increased in the samples of Kyunganchon, known as contaminated area. However, protozoan recovery did not show significant relation with turbidity, the index of matrix contamination, which implies that there are additional unveiled features of matrix affecting the recoveries of the protozoa. The protozoan distribution in Kyunganchon showed significant relations with *Cl. perfringens*, anaerobic and spore forming indicator bacteria of fecal contamination by regression analysis, but not with turbidity, the general indicator of water quality.

keywords : *Cryptosporidium*, Distribution, *Giardia*, Matrix effect, Water

1. 서 론

크립토스포리디움의 일종인 작은와편모충(*Cryptosporidium parvum*)과 지아디아 일종인 람블편모충(*Giardia lamblia*)은 척추동물의 장에 기생하는 원생동물의 일종으로서 분변을 통해 수체로 전파되며 외부 환경에서는 포낭(cysts)이나 난포낭(oocysts)의 형태로 존재하는 것으로 알려져 있다. 감염되었을 경우 설사, 구토, 복통 등 장염증세를 유발시키고, 감염자의 건강 및 면역상태에 따라 건강한 사람의 경우 증세가 나타나지 않을 수도 있으나 노약자나 어린이와 같이 면역력이 약한 사람들은 취약할 수 있다(MMWR, 1995). 특히 이러한 원생동물은 사람 뿐 아니라 가축 및 야생동물에서도 유래하여 광범위한 지표수에서 검출되며, 염소를 사용하는 소독처리에 대한 내성이 매우 강하다. 따라서 지표수를 원수로 사용하는 정수장의 경우 원생동물은 정수장 미생물관리의 모델 미생물로 제시되고 있으며 이들의 상수원 오염과 관리에 많은 관심을 기울이고 있다(WHO, 2004). 지표수가 주요 상수원인 우리나라는 오존 소독을 실시하는 일부 정수장을 제외하고 대부분의 정수장이 염소소독에 의존하고 있으며 국내에서도 의학 및 수의학 분야에 사람과 가축에서의 지아디아와 크립토스포리디움 분포 연구가 보고된 바 있다(김 등, 1984; 김 등, 1994; 조 등, 1993; 홍 등, 1990; 이 등, 1991).

물 시료에서 원생동물 분석과정은 크게 시료의 농축, 방해물질로부터 분리정제, 그리고 검출의 세 단계로 나눌 수 있다. 원생동물은 크기가 매우 작고, 보통 환경의 물 시료에서는 매우 적은 수만이 존재하고 있다. 물 시료에서 (난)포낭 검출을 위하여 보통 원수는 10 L, 정수는 50 L가 되는 많은 양의 물 시료를 현미경 관찰이 가능한 50～100 ul로 농축하여야 한다. 이를 위해 여러 단계의 농축과 분리정제과정을 거쳐야하며, 이 과정에서 회수율의 변이가 발생한다(Pontius et al., 1999). 또한, 농축과정에서 (난)포낭 이외에 입자성 유기물, 조류와 같은 다른 물질이 함께 농축되어 정확한 분석을 방해하는 간섭 물질로 작용한다(Rogers et al., 1995). 이를 해결하기 위하여 방해물질로부터 포낭

† To whom correspondence should be addressed.
hyenmic05@hotmail.com

을 분리하는데 효율적인 방법인 면역자장분리방법(Immunomagnetic separation: IMS)을 도입하였으나 자연 환경수 시료에 있는 다양한 종류의 간섭물질로 인하여 회수율에 영향을 주게 된다.

원생동물을 신뢰성 있게 분석할 수 있도록 많은 분석방법 연구가 진행되어 미환경청의 USEPA1622, 1623방법과 같은 신뢰성 있는 방법이 표준분석방법으로 제시되었으나 지속적으로 추가 개정되었고(USEPA, 1999, 2003), 분석방법 또한 여타 세균 방법과 비교하여 복잡하고 고비용이 소요된다. 국내에서도 국제적인 추세를 반영하여 물 시료에서 원생동물을 분석하는 표준시험방법을 마련하였고(한국건설기술연구원 등, 2003; 환경부, 2004; 국립환경연구원, 2004), 일부 상수도 관련기관과 학계에서 공신력 있는 자료를 생산하기 시작하는 단계에 있다.

본 연구는 국내 수계 시료의 매질이 원생동물의 분석에 미치는 영향과 국내수계의 원생동물 분포수준을 파악하기 위하여 수행되었다. 국내 대표적인 4대강 수계의 상수원수와 자연하천을 대상으로 하여 채수한 환경시료의 원생동물 농도와 기본 수질특성을 조사하고, 시료에 일정농도의 원생동물을 접종 후 회수율을 산정함으로써 매질의 영향을 평가(matrix test) 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 조사대상 및 시료채수

2000년부터 2001년 사이에 국내 주요 수계인 한강, 금강, 낙동강, 영산강 수계를 대상으로 수계별 4~8곳의 상수원수 시료를 1~2회 채수하였다. 상수원 중 한 지점에서는 월별 간격으로 11회를 채수하였다. 또한 자연 하천수인 경안천의 상류와 하류 지점을 선정하여 시료를 2월부터 9월까지 4회를 채수하는 등 총 10회를 채수하였다. 원생동물 분석과 매질영향평가(matrix test)를 위해 지점별로 10 L 용량의 채수통에 2개 이상 시료를 채취하여 24시간 안에 실험실에 운반 후 0~8°C를 유지하여 보관하였다.

2.2. 원생동물의 분석

크립토스포리디움만 분석할 경우에는 EPA1622방법을, 크립토스포리디움과 지아디아를 동시에 측정할 경우에는 EPA1623방법을 준용하여 다음과 같이 분석하였다.

2.2.1. 여과 및 추출

시료는 채취 후 72시간 내에 캡슐필터(여과면적 1300 cm^2 공극 1.0 ㎛ 여과재질 polyethersulfone, Envirochek™, Gelman)로 여과하였으며 유속은 2.0 L/min로 통과시켰다. Multi-wrist shaker에 필터를 장착한 후 추출용액(10% Laureth-12 10 mL, Tris용액 10 mL, EDTA용액 2 mL, Antiform A 150 μL를 가한 후 정제수로 총량이 1000 mL이 되게 만든액)을 넣고 600 rpm으로 5 분간 교반하였다. 이때 공기밸브를 0도 90도 180도로 장착방향을 바꿔가며 총 15 분간 교반한 후 뚜껑을 열고 추출된 액을 175 mL 원심분리관에 옮겼다. 다시 추가로 추출액을 넣은 후 장착하고 이번에는 air valve가 9시 방향에 오도록 하여 추출하여 원심분리관에 옮겼다.

2.2.2. 농축과 정제

여과추출액이 들어있는 원심분리관을 1,100x g로 15분간 원심분리 한 후 펠렛량을 기록하고, 상등액을 제거한 후 현탁액을 만들었다. 면역자장분리(Immunomagnetic separation) 실험을 하기 위해 한쪽 면이 평편한 리톤 튜브에 10x SL buffer와 Dynabead를 첨가하여 18 rpm으로 1시간 회전 후 시험관을 평면시험관의 평편한 면이 전자장 쪽으로 향하게 하여 자석농축기(magnetic particle concentrator) MPC-1에 놓고 손으로 평면시험관의 끝을 잡고 초당 1회 속도로 2분간 뚜껑과 몸체가 상하 약 90°정도 기울어지도록 움직인 후 상등액을 제거하였다. 1x SL buffer A 1 mL을 첨가하여 시험관내 모든 물질을 재 부유시키고 재부유된 모든 용액을 1.5 mL 원심튜브에 옮겨 MPC-M에 원심튜브를 놓고 자석띠를 제자리에 끼운 후 MPC-M을 손으로 부드럽게 초당 1회씩 약 1분간 180°각도로 기울여 움직여주었다. 튜브의 뒷면에 둥근 갈색점을 형성하면 즉시 MPC-M에서 뚜껑을 열고 튜브와 뚜껑에 붙어 있는 용액을 제거한 후 MPC-M에서 magnetic strip을 분리하였다. 튜브에 HCl 50 μL를 첨가한 후 MPC-M에 magnetic strip을 끼워 *(oo)cysts*만을 분리하였다. 위 분리과정을 두 번 반복하였고, 분리된 *(oo)cysts*를 웰슬라이드에 떨어뜨려 건조시켰다.

2.2.3. 염색

염색과정에 대한 양성 및 음성대조구를 동시에 수행하였다. 염색과정은 크립토스포리디움만 분석할 경우에는 웰슬라이드의 시료를 건조통에 넣어 42°C에서 건조시킨 후 methanol을 떨어뜨려 공기 건조시키고 anti-*Cryptosporidium* sp. fluorescein labeled monoclonal antibody(Mab)첨가하여 humid chamber에서 37°C에서 약 30분간 배양시킨 후 DAPI 염색하여 mounting medium을 떨어뜨리고 밀봉하였다. 지아디아와 크립토스포리디움을 동시에 분석할 경우에는 공기 건조된 웰슬라이드의 시료에 detection Reagent와 counterstain을 한 방울 떨어뜨리고 humid chamber에 넣어 상온에서 약 30분간 배양시킨 후 DAPI 염색하여 mounting medium을 떨어뜨리고 밀봉하였다.

2.2.4. 동정과 계수

관찰과 확인은 면역형광검사(FA), DAPI 염색특성, DIC관찰의 순으로 진행하였다. 현미경 동정은 먼저 음성 및 양성대조구를 확인한 후 시료관찰로 들어갔다. 형광 현미경(Axioplan II, Zeiss, Germany) ×1000 배율 하에서 *(oo)cysts*로 추정되는 밝은 녹색 형광을 띠는 (크립토스포리디움은 4~6 ㎛, 지아디아는 8~18 ㎛) 테두리가 선명한 달걀형이나 둥근 물체를 관찰하면, DAPI용 UV filter block으로 현미경을 전환하여 DAPI에 의한 4개 이하의 푸른색 핵의 염색과 내부 염색특성을 관찰하고, 그 다음에 DIC로 내부구조를 확인하였다. 크립토스포리디움과 지아디아 *(oo)cysts*의

형광특성을 나타내고 내부구조상 다른 물체가 아닌 것을 계수하여 각각 총 수(total number)로 나타내었고, 내부구조가 있는 것은 별도로 계수하여 표시하였다.

2.3. 원생동물 정도 관리

분석의 질을 확보하기 위하여 환경시료에서 원생동물 분석을 시작하기 전에 증류수에 접종하여 실험하는 초기증류수접종실험(IPR, Initial Precision and Recovery)과 검사과정 중의 오염여부 판정을 위한 음성 대조군 실험(Blank test)를 수행하였다.

2.4. 수질 분석

수온은 conductivity/temperature meter(Model 30/50 FT, YSI)로 측정하였고, pH는 pH 측정기(twin pH, Horiba, Japan)로, 탁도는 휴대용탁도계(2100P, Hach)를 사용하여 측정하였다. 일부 시료에서는 지표세균으로서 웰시균(*Clostridium perfringens*, *CP*)을 USEPA의 ICR 방법(USEPA, 1995)에 따라 분석하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 분석의 정도관리

원생동물 분석 실험을 시작하기 전에 실험실내 검출효율과 정밀도를 파악하기 위해 EPA 1622방법과 EPA 1623방법으로 증류수 10 L에 4번의 접종실험(Spiking test)을 수행하였다. 검출효율은 평균 회수율로, 정밀도는 상대표준편차(RSD = relative standard deviation)로 표현되는데, 회수율이 높고 상대표준편차가 낮을수록 정확한 분석에 근접한다. 본 실험실에서 EPA 1622방법의 크립토스포리디움 평균회수율은 66.6%였고, EPA 1623방법에 의한 크립토스포리디움과 지아디아의 평균회수율은 각각 72.1%와 56.3%로서, EPA1622에서 요구하는 평균회수율인 19~100%와 EPA1623법에서 요구하는 21~100%, 17~100%를 모두 만족하였다. 그리고 음성대조군으로 증류수 10 L를 검사한 결과는 음성이었다. 상대표준편차 역시 EPA방법에서 요구하는 최대상대표준편차 이내였다.

3.2. 원생동물의 분포 수준

한강, 금강, 낙동강, 영산강 수계, 4대강 수계의 지역별 원생동물의 분포를 Fig. 1에 나타내었다. 4대강 수계의 상수원수에서 크립토스포리디움은 총 39개 시료 중 6개(검출률 15%)에서 검출되었고 검출 농도는 1~3 oocysts/10 L였다. 지아디아는 총 24개 시료 중 5개 시료(검출률 21%)에서 검출되었고 검출농도는 1~6 oocysts/10 L 였다. 한편 내부구조를 확인한 크립토스포리디움의 검출률과 농도범위는 총 수와 동일한 반면, 내부구조를 확인한 지아디아를 검출한 시료는 4건, 검출농도는 1~4 oocysts/10 L로 총수로 검경한 것보다 낮게 나타났다. 크립토스포리디움과 지아디아의 수계별 검출비율은 한강(20%, 20%), 금강(20%, 20%), 낙동강(10%, 40%), 영산강(0%, 0%)간에 큰 차이를 보이지 않았다.

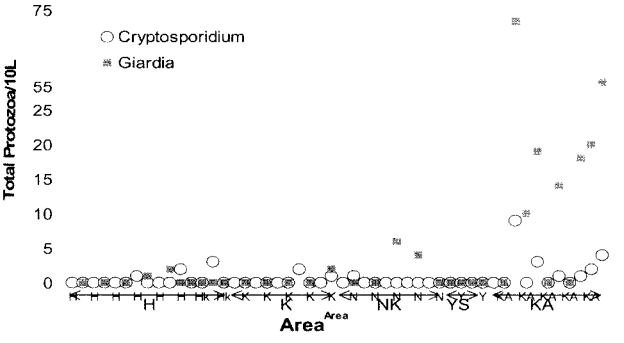

Fig. 1. The distribution of protozoan *(oo)cysts* in research area(H=Han river, K=Keum river, NK=Nakdong river, YS=Youngsan river, KA=Kyungan cheon).

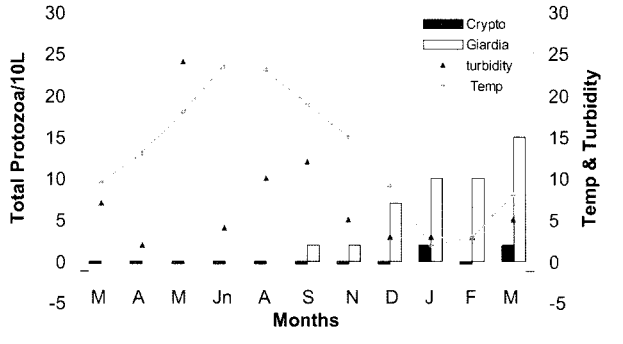

Fig. 2. The monthly variation of protozoan (oo)cysts in a site in Han river.

경안천에서는 총 10건의 시료 중 6건이 크립토스포리디움 양성, 7건이 지아디아 양성이었고(검출률 각각 60%와 70%), 검출농도는 각각 1~9 oocysts/10 L, 10~72 cysts/10 L(내부구조 확인된 지아디아는 6~62 cysts/10 L)로서 지아디아의 농도가 크립토스포리디움보다 약 10배 가량 높게 나타났다(Fig. 1). 경안천 상류지점에서 크립토스포리디움은 4회 조사 모두 불검출되었고, 지아디아 역시 3회 조사에서 불검출, 1회에서 6 cysts/10 L로 검출되어 오염도가 낮았다. 반면, 하류지점은 크립토스포리디움과 지아디아가 4회 모두 검출되어 하류의 원생동물 오염이 높았다. 2월부터 9월까지 단 4회의 조사로 계절적인 경향을 파악하기는 어려우나, 시기적으로 겨울인 2월에 크립토스포리디움과 지아디아 모두 가장 높은 농도로 검출되었다.

상수원 지점 중 원생동물 검출율이 비교적 높을 것으로 예상되는 한 지점에서 2000년 3월부터 이듬해 3월까지 월별 간격으로 크립토스포리디움을 조사하였다(Fig. 2). 그 결과 11회 조사 중 단 2회만 2 oocysts/10 L의 농도로 검출되었고 검출시기가 모두 겨울이었다. 지아디아는 동 지역에서 9월부터 이듬해 3월까지 6회 조사시 모두 검출되었는데 평균 검출농도는 7.7 cysts/10 L 였고 수온이 10°C 이하로 저하된 겨울에 검출농도가 증가하는 경향을 보였다.

3.3. 시료 매질이 분석에 미치는 영향

원생동물은 10 L의 물을 농축하여 전량 분석하므로, 원수시료에 포함된 물질에 의한 간섭현상이 예상되었다. 시료

채취지점이 다르기 때문에 간섭현상은 시료마다 차이를 나타낼 것으로 예상되어 분석한 모든 시료에 대하여 알고 있는 농도의 원생동물을 접종하여 회수율을 조사하는 매질실험을 동시에 수행하였다. 매질실험의 회수율은 접종시료의 회수량과 미접종시료의 회수량의 차이로 산정하였다.

상수원수와 자연하천수 총 49건 중 48건의 시료에 대한 매질실험에서 크립토스포리디움과 지아디아의 평균회수율(표준편차)은 각각 34.0%(Sr=17.7%)와 87.3%(Sr=17.6)이었고, 시료에 대한 매질실험의 회수율은 크립토스포리디움 1건(11.5%), 지아디아 2건(120%, 121%)을 제외하고 프로토콜에서 요구하는 13～111%(Sr=61%), 15～118%(Sr=30%)를 만족하였다. 시료채취지역별 매질실험의 회수율을 Fig. 3에 나타내었다. 매질실험의 회수율은 상수원수간에는 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만, 수질이 상수원과 다를 것으로 추정되는 경안천 하천수의 경우 매질실험의 지아디아 회수율이 크게 상승하였고, 크립토스포리디움도 상승하는 특징을 보였는데 Yao 등(2003)도 탁질이 높은 물에서 크립토스포리디움의 회수율이 높아짐을 보고한 바 있다. 따라서, 매질특성의 차이가 클 경우 회수율의 차이가 나타날 수 있을 것으로 예상되었다.

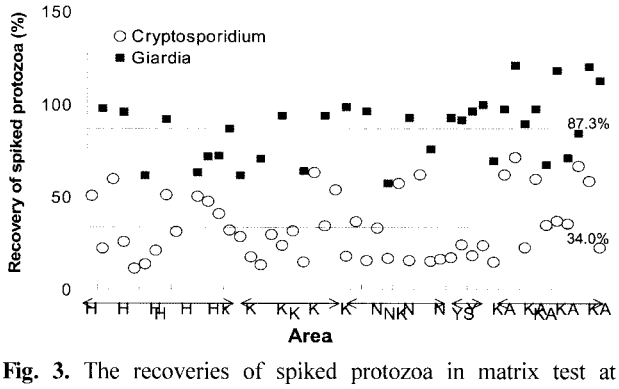

Fig. 3. The recoveries of spiked protozoa in matrix test at the research area.

3.4. 원생동물 분포와 환경인자와의 관계

본 연구에서는 매질실험과 함께, 수질의 기본적인 특성인 수온, 탁도, pH를 함께 측정하였다. 분석시료의 수온은 4.0～29°C 범위에 있었는데, 수온이 높을수록 원생동물을 포함한 미생물의 생존이 낮아진다. 상반기의 2개 지점을 제외하고 pH는 모두 6.5～8.5 사이의 중성이었다. 탁도는 0.8～49.6 NTU 범위였는데 탁도 수치가 높은 시료는 여타 유기물과 조류 등 간섭물질을 많이 포함하여 회수율에 영향을 미칠 것으로 사료되었다. 그러나 본 연구 시료의 원생동물 분포 수준과 탁도나 수온 간에는 유의한 상관관계가 나타나지는 않았다(data not shown). 시료의 매질실험에서 지아디아, 크립토스포리디움 회수율과 탁도 간에 양의 관계가 관찰되었으나 유의한 관계는 아니었다(Fig. 4).

한편, 경안천 유역에서는 원생동물 분석과 함께 분변오염 지표인 웰시균(*Clostridium perfringens*)도 분석하였는데, 원생동물 수준이 증가하면 웰시균도 증가하는 양상을 나타내었고, 이러한 양상은 분포수준이 낮은 크립토스포리디움 보다는 분포수준이 높은 지아디아와 비교하여 보았을 때 더욱 명확하였다. 반면, 동시에 측정한 탁도와는 유의한 상관관계를 보이지 않았다(Fig. 5). 따라서 웰시균이 이 유역에서 원생동물 오염의 유용한 지표로 사용될 수 있는 가능성을 보여 주었으며, 더 많은 수의 자료 축적으로 통계적으로 유의한 결론을 내릴 수 있을 것으로 사료되었다.

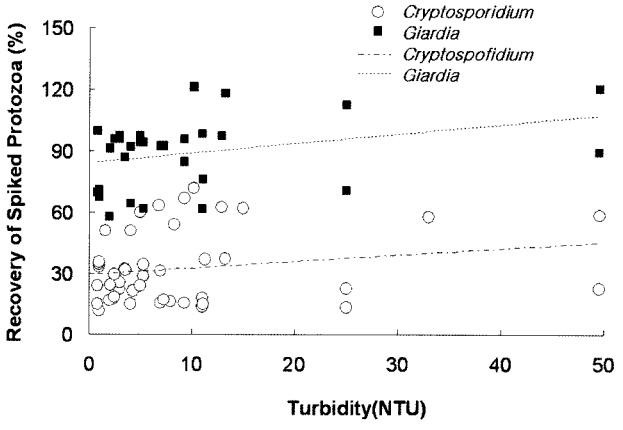

Fig. 4. The effect of turbidity on the recovery of protozoan (oo)cysts in matrix test.

4. 고 찰

작은와포자충(*Cryptosporidium parvum*)이나 람블편모충(*Giardia lamblia*)같은 수인성 원생동물은 일반적인 정수소독 처리에도 견딜 수 있으며, 적은 수로도 감염이 될 수 있고, 특히 면역능력이 저하된 사람들에게 치명적일 수 있으므로 최근에 중요한 수질관리의 대상이 되고 있다. 특히 지표수를 원수로 하는 상수원의 미생물 관리에 원생동물은 다른 미생물들보다 환경 및 정수처리에서 내성이 크므로 전체 미생물관리의 모델 미생물로 제시되고 있다. 국내에서도 이를 반영하여 시설용량이 일일 10만톤 이상의 수돗물을 생산하는 정수장 상수원에 대하여 원생동물 분포조사를 시작하였다(환경부, 2004).

현재까지 국내 수계에서 연구는 몇 건이 보고되어 있는데, 본 조사연구와 동일한 방법으로 서울시 6개 취수원수를 측정한 이 등(2000)은 40시료를 1년간 계절별로 분석하여 크립토스포리디움의 평균검출률과 농도범위를 29.2%와 불검출～4/10 L로, 지아디아의 평균검출률과 농도범위를 47.2%와 불검출～9.7/10 L로 보고하였다. 또한 김 등(2000)은 ASTM(American Standards for testing Methods)방법에 준하여 한강과 금강수계의 상 하류의 14개 시료를 분석한 결과 크립토스포리디움과 지아디아의 검출률을 71～78%, 농도를 불검출～35/10 L 수준으로 보고하였다. 본 연구에서는 국내 주요 수계를 대상으로 표본 조사하여 크립토스포리디움은 총 49개 시료를, 지아디아는 총 34개 시료를 분석하여 평균 검출률은 크립토스포리디움이 12.2%, 지아디아가 35.3%였고, 농도범위는 각각 불검출～9/10 L와 불검출～72/10 L로서 선행연구와 유사한 범위 내에 있었다.

외국의 사례를 보면 캐나다 72개 도시 상수원수(100 L)

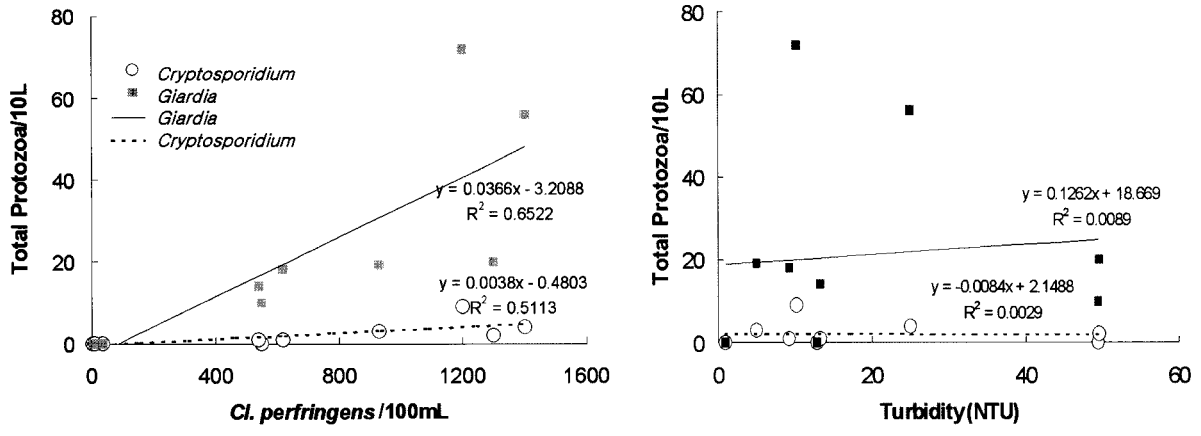

Fig. 5. The relation of protozoan (oo)cyts levels with turbidity and *Cl. perfringens* in Kyungancheon.

를 조사한 결과에서는 조사 지점 중 크립토스포리디움 4.5%, 지아디아 21%가 양성이었고(Wallis et al., 1996), 캐나다 유콘주의 조사에서는 지아디아가 조사지점의 32%에서 검출되었으나 크립토스포리디움은 검출되지 않았다(Roach et al., 1993). 이러한 보고들은 크립토스포리디움의 검출수준이 지아디아의 검출수준보다 낮은 우리의 결과와도 유사하다 할 수 있다. 한편 미국의 상수원수를 조사한 다른 보고에서는(Lechevallier et al., 1991, 1995a) 조사 지점 중 크립토스포리디움 87%, 지아디아 81%의 매우 높은 양성 검출 결과를 나타내었으며 캐나다 서남부의 두 지역을 조사한 결과에서는 상수원수(2,740 L)의 69%가 지아디아 양성을 나타내기도 있다(Judith et al., 1996). 그러나 이러한 조사 결과들은 검출방법과 검출 시료량이 모두 다르므로 서로 직접적으로 비교할 수는 없으며 실제로 실험방법에 따라 검출효율의 차이가 매우 크게 나타나고 있음이 보고되고 있다(Pontius et al., 1999; LeChevallier et al., 1995b; Pezzan et al., 1999). 최근 미국에서 EPA1623방법을 사용한 ICRSS(ICR supplement Survey)는 본 연구와 가장 유사한 연구라고 할 수 있다. Connell 등(2000)에 따르면 40개 정수장에서 ICRSS와 동시에 ASTM방법을 기초로 한 ICR (Information Collection Rule, 정보수집규정)방법으로 모니터링을 수행하였는데, 그 결과를 보면, 정수장 검출률이 ICR방법(크립포스포리디움과 지아디아 각각 55%와 73%)보다는 EPA1622방법(각각 85%, 83%)이 더 높았다. EPA1623방법으로 분석시 정수장의 평균 농도는 크립토스포리디움은 0.04 oocyst/L, 지아디아는 0.28 cysts/L였다. 시료수로 본 검출률은 ICR 방법이 크립토스포리디움과 지아디아 각각 9%, 20%, EPA 1623방법이 13%와 35%로서 역시 EPA1623방법이 더 높았고, 그 수치는 국내 시료의 검출률과 유사한 수준이었다.

본 조사에서 검출의 신뢰성을 높이기 위해 접종실험(Matrix spiking test)을 모든 시료에 대해 동시에 수행하였으며, 그 결과 설정된 기준에 만족하였다. 그러나 크립토스포리디움은 증류수에 접종실험을 했을 때 보다 원수에 접종실험을 했을 때 평균회수율이 66.6%(EPA 1622방법), 72.1%(EPA 1623방법)에서 34.0%(combined)로 회수율이 저하되는 경향이 있는 반면, 지아디아의 경우는 증류수접종실험(평균 56.3%) 보다 원수접종실험(평균 87.3%)에서 회수율이 증가하여, 지아디아 보다 입자크기가 작은 크립토스포리디움이 원수 매질의 간섭 영향을 크게 받는 것으로 사료되었다. 한편, 상수원수보다 원수수질이 크게 낮고 탁도가 높은 하천에서는 크립토스포리디움과 지아디아 모두 회수율이 상승하였는데(Fig. 3), Yao 등(2003)도 수돗물 보다는 탁도가 높은 하천 시료에서 크립토스포리디움 회수율이 상승하는 현상을 보고한 바 있다. 이와 같이 매질이 크립토스포리디움 회수율에 영향을 미치는가에 대해서는 손쉽게 측정할수 있는 탁도, 입자 등으로 매질의 영향을 보고자 하였으나 본 조사연구에서는 탁도(탁도 범위, 0.8～49.6 NTU)가 크립토스포리디움이나 지아디아의 회수율에 일정한 방향으로 유의하게 영향을 미치지 않는 것으로 나타나 원수 접종실험에서 원수 간의 탁도 자료만으로는 회수율 차이를 초래하는 원인을 밝힐 수 없었다(Fig. 4).

외국의 선행 연구들에서도 매질 특성을 나타내는 주요 인자에 대해서는 자세히 연구되지 않아 조건과 시료에 따라 상이한 결과들을 보고하고 있다. 87개 지표수에서 430개의 매질을 분석한 ICRSS연구에서는 평균 크립토스포리디움 회수율 43%(RSD=47%)와 탁도가 회수율 저하에 영향이 크지 않음을 보고하였고 이때 탁도 범위는 <1～121 NTU(평균 15 NTU, 중간값 4 NTU)였다(Connel et al., 2001). 반면, Simons 등(2001)은 탁도가 높은 매질이 크립토스포리디움 회수율을 저하시킴을 미국 다른 지역에서 채취한 11개의 시료 분석 결과에서 보고하였는데 이때 탁도는 <1～160 NTU(평균 35.3, 중간값 8.0 NTU)이었다. 한편, Yao 등(2003)은 다양한 탁도 변화 하에서 입자 분포가 크립토스포리디움 회수율에 영향을 끼침을 상수원수, 수돗물, 그리고 실리카를 주입한 시료 분석을 통하여 보고하였다.

본 연구의 매질 실험에서 지아디아는 80%이상의 평균회수율을 나타내나, 크립토스포리디움은 30%대의 회수율을 보여, 크립토스포리디움은 과소평가될 가능성이 제기 되었다. 그러나 여전히 회수율이 정도관리요건의 범위 내에 있

었고, 변이가 심한 환경에서의 미생물 분포특성으로 볼 때 이러한 낮은 회수율이 어떻게 시료평가에 정량적으로 환산되어야 할지는 좀더 자료가 축적되어야 할 것이다.

EPA 1622, 1623 방법은 기존의 방법들에 비해 분석방법의 안정성과 회수율에 있어서 많이 개선된 방법이긴 하나 여전히 분석한 결과가 사람에게 병원성인 작은와포자충(*Cryptosporidium parvum*)이나 람블편모충(*Giardia lamblia*) 종을 구분해 낼 수 없고, 포낭의 생존유무를 알 수 없으므로 위해성 여부를 판단할 수 없다. 이 분석 자료는 가장 처리가 곤란한 원생동물의 지표수 원수에서의 오염정도를 파악하고, 이에 대한 관리대책을 세우는데 중요한 자료로 사용될 것이나 위해성 판단에 관하여는 한정된 정보만을 제공한다고 할 수 있다. 위해성에 관하여는 살아있는 원생동물을 쉽게 분석할 수 있는 방법이 지속적으로 개발되어야 할 것이다.

본 연구는 주요 수계의 표본조사로서, 국내 상수원에서의 (난)포낭의 잠재적인 존재 가능성을 다시 한번 확인하였으나 검출수준은 국내 다른 연구나 외국의 수준과 비교하여 눈에 띠게 높은 수준이라기 보다는 유사하거나 낮은 수준이라고 볼 수 있었다. 오염된 하천수에서는 예상과 같이 상수원수보다 높게 나타났다. 그러나 본 결과는 지점 당 적은 시료수를 대상으로 한 조사라는 한계를 갖는다. 향후 상수원수 관리를 위하여, 그 지역의 오염원 분포, 평수기 기초자료수준(baseline level)과, 강우나 갈수기와 같이 수질의 급 변화시를 포함한 지속적인 조사가 필요할 것이다.

참고문헌

국립환경연구원, 원생동물 검사기관지정 등에 관한 고시 (2004).

김석찬, 김재진, 이근태, 경기도 전라북도 주민의 장내 원충감염에 대한 역학적 조사, *기생충학잡지*, **22**(1), pp. 116-126 (1984).

김종환, 니영인, 김남만, 신대환, 장대윤, 금강(대청댐 상류) 유역 주민의 장내 기생충 및 간흡충 감염 실태, *기생충학잡지*, **32**(4), pp. 207-214 (1994).

김혜선, 윤제용, 염철민, 국내상수원수 및 하수에서 크립토스포리디움과 지아디아 포낭검출, *한국물환경학회지*, **16**(5), pp. 585-594 (2000).

이목영, 김도연, 조은주, 이의광, 오세종, 이채근, 1623방법에 의한 서울시 상수도계통의 지아디아 및 크립토스포리지움 검출, *한국물환경학회지*, **16**(5), pp. 595-608 (2000).

이재구, 서영석, 박배근, 한국산 동물로부터 크립토스포리디움의 분리 및 동정1, 각종 동물의 크립토스포리디움 감염상황, *기생충학잡지*, **29**(2), pp. 139-148 (1991).

조명환, 김애경, 임경일, 연세대학교 세브란스병원 환자에서의 크립토스포리디움 오시스트 검출률, *기생충학잡지*, **31**(3), pp. 193-200 (1993).

한국건설기술연구원 등, *정수처리기술기준 시행을 위한 원생동물 분석방법 연구*, 국립환경연구원 (2003).

홍성종, 이순형, 채종일, 서병설, 경남 통영군 2개 도서지역 주민의 장내 기생충 감염상황, *기생충학잡지*, **28**(1), pp. 63-67 (1990).

환경부, 정수처리에 관한 기준개정(환경부고시 제 2004-89호) (2004).

Bukhari et al., Immunomagnetic Separation of *Cryptosporidium parvum* from Source Water Sample of Various Turbidities, *Appl. Environ. Microbiol.*, pp. 4495-4499 (1998).

Connell et al., Building a Better Protozoa Data set, *J. AWWA*, **92**(10), pp. 33-43 (2000).

Connell et al., Discussion of "Evaluation of USEPA Method 1622 for Detection of Cryptosporidium Oocysts in Stream waters," *J. AWWA*, **93**(3), pp. 106-107 (2001).

Judith et al., Longitudinal Studies of Giardia Contamination in Two Community Drinking Water Supplies: Cyst Levels, Parasite Viability, and Health Impact, *Appl. Environ. Microbiol.*, **62**, pp. 47-54 (1996).

LeChevallier et al., *Giardia* and *Cryptosporidium* in Raw and Finished Water, *J. AWWA*, **87**(9), pp. 81-84 (1995a).

LeChevallier et al., Evaluation of the Immunofluorescence Procedure for Detection of *Giardia* Cysts and *Cryptosporidium*, Oocysts in Water, *Appl. Environ. Microbiol.*, **61**, pp. 690-697 (1995b).

LeChevallier et al., Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* spp. in Surface Water Supplies, *Appl. Environ. Microbiol.*, **57**, pp. 2610-2616 (1991).

MMWR(Morbidity and Mortality Weekly Report), Assessing the Public Health Threat Associated with Waterborne Cryptosporidiosis: Report of a Workshop. **44**, No. RR-, June 16 (1995).

Pezzana et al., Optimization of the Envirocheck Capsule Method and Immunomagnetic Separation Procedure for the Detection of Low Level of Cryptosporidium in Large Drinking Water Samples, *International Conference*, Paris, April, pp. 19-23 (1999).

Pontius, F. W. and Clancy, J. L., ICR Crypto Data: Worthwhile or Worthless?, *J. AWWA*, **91**, pp. 14-22 (1999).

Roach et al., Waterborne *Giardia* Cysts and *Cryptosporidium*. Oocysts in the Yukon, Canada, *Appl. Environ. Microbiol.*, **59**, pp. 67-73 (1993).

Rodgers et al., Identification of Algae which Interfere with the Detection of *Giardia* Cysts and *Cryptosporidium* Oocysts and a Method for Alleviating this Interference, *Appl. Environ. Microbiol.*, **61**, pp. 3759-3763 (1995).

Simons et al., Evaluation of USEPA Method 1622 for Detection of *Cryptosporidium* Oocysts in Stream Waters, *J. AWWA*, **93**(1), pp. 78-87 (2001).

USEPA, *ICR Microbial Laboratory Manual*, 600-R-95-178 (1995).

USEPA, Method 1622, (1999).

USEPA, Method 1623, (1999), (2003).

Venczel et al., Inactivation of *Cryptosporidium parvum* Oocysts and *Clostridium perfringens* Spores by a Mixed-Oxidant Disinfectant and by Free Chlorine, *Appl. Environ. Microbiol.*, pp. 1598-1601 (1997).

Wallis et al., Prevalence of *Giardia* Cysts and *Cryptosporidium*. Oocysts and Characterization of *Giardia* spp. Isolated from Drinking Water in Canada, *Appl. Environ. Microbiol.*, **62**, pp. 2789-2797 (1996).

WHO, *Guideline for Drinking-Water Quality*, Volume 1, Recommendations, 3rd edition, World Health Organization, Geneva (2004).

Yao et al., Effect of Particles on the Recovery of *Cryptosporidium* oocysts from Source Water Samples of Various Turbidities, *Appl. Environ. Microbiol.*, **69**(4), pp. 1989-1903 (2003).