

낙동강 중류수계에서 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 분포 특성

김윤희[†] · 이순화 · 이철희

영남대학교 환경공학과

(2006년 7월 7일 접수, 2006년 8월 27일 채택)

Characteristics of Occurrence of *Cryptosporidium* and *Giardia* in the Nakdong River

Yun-Hee Kim[†] · Shun-Hwa Lee · Chul-Hee Lee

Department of Environmental Engineering, Yeungnam University

ABSTRACT : Although the detected amounts of those disease-causing(oocysts) were high at each point in 2001, the detected amounts of *Cryptosporidium* and *Giardia* had decreased at low levels below 10(oocysts) until 2004. Considered the detection results of each season, the most highly detected amounts of(oocysts) were mostly recorded in summer and late summer(from June to September), while the site which the biggest amount was detected, was the point at Goryeung. The relation of *Cryptosporidium* with the water quality items was low, but the relations of *Cryptosporidium* and *Giardia* with turbidity were high($R^2=0.4914$, $R^2=0.6176$ respectively). And the detected amounts of *Cryptosporidium* and *Giardia* were relatively high, 20(oocysts)/20L when the turbidity was more than 20 NTU. It was also found that the relation between the distribution of *Cryptosporidium* and *Giardia* was high, $R^2=0.8432$ and the density of *Giardia* was generally higher than that of *Cryptosporidium*. And *Cryptosporidium* and *Giardia* were simultaneously detected at each point. The primary sources that affected the density of those(oocysts) were the livestock waste water and sewage.

Key Words : *Cryptosporidium*, *Giardia*, Occurrence, Turbidity, Relationship, Nakdong River

요약 : 년도별 검출결과 2001년도에 각 지점별로 많은 검출을 보였지만 2004년도로 갈수록 *Cryptosporidium*과 *Giardia* 모두 10(oocysts)/20 L 이하의 낮은 검출을 보였으며, 계절별로는 여름철과 늦여름(6~9월)이 가장 많이 검출되었으며 지점별로는 고령교가 가장 높게 검출되었다. *Cryptosporidium*과 수질지표분석항목은 낮은 상관성을 보였으나 탁도와외의 상관성에서는 *Cryptosporidium*의 경우 $R^2=0.4914$, *Giardia*는 $R^2=0.6176$ 으로 높게 나타났으며 *Cryptosporidium*보다 *Giardia*가 더 높은 상관성을 보였다. 그리고 탁도가 20 NTU 이상 일 때 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 검출이 대체로 20(oocysts)/20L 이상 높게 나타남을 알 수 있었다. *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 상관성은 $R^2=0.8432$ 로 높게 나타났다. 각 지점별로 *Cryptosporidium*과 *Giardia*는 동시에 검출되고 있었으며, *Giardia*의 농도가 대체로 높게 나타났다. 축산폐수나 하수의 영향이 큰 것으로 나타났다.

주제어 : 크립토스포리디움, 지아디아, 분포, 탁도, 상관성, 낙동강

1. 서론

Cryptosporidium oocyst는 두꺼운 세포벽으로 둘러 싸여 있어 정수처리공정을 거쳐도 쉽게 제거되지 않는다. 특히 염소에 대한 내성이 강한 특성을 가지고 있어 불활성화가 어려우며, 장관계 질병 증 감기 다음으로 빈번하게 발생하는 질병으로 분류되고 있어 미국, 캐나다, 일본 등 선진국에서는 장기생 원생동물(*Cryptosporidium*, *Giardia*)의 분석방법, 발생 원인, 수처리를 통한 예방 및 치료법에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.¹⁾ 그러나 많은 연구와 정수공정의 개선에도 불구하고 선진국에서는 *Cryptosporidium*과 관련된 병원성 미생물에 의한 감염사례가 계속 보고되고 있다. 아직까지 우리나라에서는 *Cryptosporidium*으로 인한 집단 발병 사례가 보

고된 적이 없지만, *Cryptosporidium*은 물을 매개로 하여 집단 발병을 일으킬 위험이 있고, 실제로 한강, 금강, 낙동강²⁻⁴⁾ 등의 지표수, 하수처리장 방류수에서의 *Cryptosporidium* 검출과 분포에 관한 보고가 잇따르고 있다. 또한 상수 처리 과정에서 *Cryptosporidium*의 제거 거동을 파악하여 먹는 물의 안전성을 확보하는 것이 중요한 과제로 되고 있으며, 정수처리공정의 개선 및 소독에 의한 제거 연구도 활발히 진행되고 있다. 미국환경청(U.S. Environmental Protection Agency)은 새로운 검출방법인 1623법을 개발하여 실험과정에서 원생동물의 손실을 적게하고 실험과정을 간단화 했다.⁵⁾ 그러나 여전히 여과과정에서 손실이 높게 나타나 이에 따른 새로운 방법이 모색되어야 한다는 연구결과⁶⁾가 계속 발표되고 있다. 국내에서는 2003년 하수도법시행규칙이 개정되어 하수처리 시설에 소독 설비를 의무화하였으며, 2004년 7월부터 정수처리 공정에서 병원성 원생동물인 *Giardia* 99.9%(3log)제거를 의무화 하는 등 정수처리 기준이 강화되었다. 그러나 국내에서의 검출방법 개발은 현재까지 미비한 실정이다. 다

[†] Corresponding author

E-mail: sewonk27@hanmail.net

Tel: 053-810-2540

Fax: 053-810-6482

만 미국에서 개발된 ICR(Information Collection Rule)법과 표준방법인 1623법을 이용한 분석연구가 진행되어져 오고 있으며, 새로운 배양기술 개발을 통한 연구들이 일부 수행되어지고 있다. 본 연구에서는 수정 ICR(Information Collection Rule)법을 이용하여 3년 동안 낙동강 중류지역에 분포한 *Cryptosporidium*과 *Giardia*을 조사함으로써 낙동강 수계의 지표수에 존재하는 것으로 알려져 있는 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 기초적인 실태조사와, 신뢰성 있는 자료 축적의 근거를 제시하기 위해 월별 및 계절별, 그리고 특정오염원이나 기타 여러 요인들에 의한 분포특성을 규명하고자 한다.

2. 실험 방법

2.1. 채수지점

본 연구의 조사 수역은 낙동강 본류인 중동교(J.D.), 낙단교(N.D.), 왜관교(W.G.), 강정(G.J.), 고령교(G.R.), 현풍(H.P.) 등 6개 지점과 위천의 내량교(N.R.), 감천의 감천(G.C.), 금호강 하류의 해량교(H.R.) 등 3개 지점을 중심으로 조사했다. 지류인 위천은 유량변동이 심하고, 특히 갈수기인 1~4월과 5월까지 낮은 수위를 보였으며 채수지점 주변에 축산 농가가 있어 배출되는 폐수 등 *Cryptosporidium*의 유입이 있을 것으로 예상되었다. 감천은 주로 가정하수가 유입되는 곳이며 금호강 하류인 해량교는 염색공단 등에서 배출되는 공단폐수와 가정하수가 혼합되어 유입되는 지점이다.⁴⁾ 조사는 1999년부터 매월 1회 이상 실시한 자료를 참고하여 2001년 1월부터 2002년 12월까지 9개 지점을 대상으로, 그리고 2004년 1월부터 12월까지 낙동강 본류의 5개 지점(중동교, 낙단교, 왜관교, 강정, 고령교)을 대상으로 총 3년간 매월 분석하였다. 채수 지점을 Fig. 1에 나타냈다.

2.2. 특정 하·폐수의 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 분석

특정하·폐수 실험은 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 존재유무의 뒷받침과 하천 상류의 오염 가능성이 있는 지점으로써

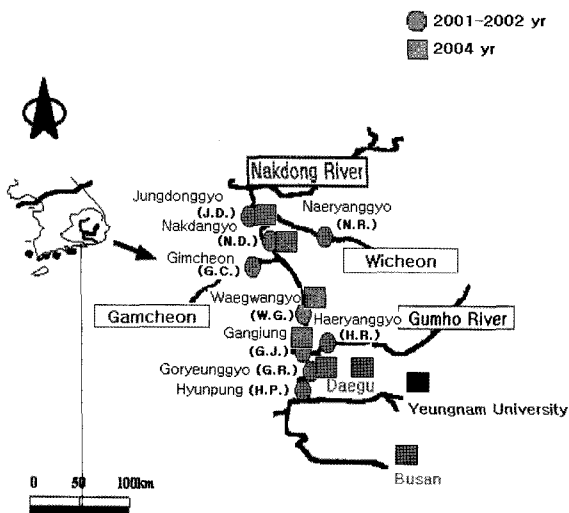


Fig. 1. Sampling points in the Nakdong river and its tributaries.

Table 1. Analytical methods of water quality

Items	Method and Apparatus
Water Temperature	DO Meter, YSI MODEL 58
pH	pH Meter, 704 pH Meter, Metrohm
DO	DO Meter, YSI MODEL 58
BOD	Winkler's azide modification method
SS	Total filterable residue dried at 110°C
T-N	Ultraviolet spectrophotometric method
T-P	Ascorbic acid reduction method
TOC	TOC 5000 Analyzer
Turbidity	HACH-2100N

유입 하천의 수질이 대부분 축산폐수와 하수 유입에 의한 하천을 대상으로 조사 분석하였다. 2001년 5월에 대구시 팔공산의 신용동지역을 선정해서 축산폐수(I)(II)(III)를 채수했다. 그리고 공산댐, 운문댐, 가창댐, 달서천의 염색공단폐수 유출수, 경산시의 가정하수, 대구시의 상수원으로 이용되고 있는 강정지점을 대상으로 분석했다.

2.3. 분석방법

2.3.1. 일반 수질항목

일반 수질지표항목 분석은 낙동강 중류수계에 존재하는 (oo)cysts의 분포 특성 경향을 파악하고 분포원인을 조사함으로써 낙동강 중류수계의 수질관리의 방향을 제시하고자 하였다. 수질분석은 수온, DO, pH, BOD, SS, TOC, T-N, T-P, 탁도 항목을 대상으로 조사 및 분석하였고, 각 항목의 분석방법을 Table 1에 나타내었으며 수질환경오염공정시험법에 준하여 실험하였다.

2.3.2. (oo)cysts 분석

연구 실험은 U.S EPA에서 규정한 ICR(Information Collection Rule)법에서 일부 변경한 방법인 수정 ICR(Information Collection Rule)법을 이용하여 실험을 하였다.⁷⁾ 채수 양을 20 L로 사용했으며 여과 농축과정에서 Millipore 회사의 membrane filter를 사용했다. 본 실험은 전처리 단계인 농축과 회수, FITC 염색, 현미경관찰을 통한 계수로 세 부분으로 나누어 실험하였다.

(1) 농축·회수

각 지점별로 20 L를 채수한 원수를 아세톤에 용해되는 membrane filter(Millipore, 1.2 um, White RAWP, 142 mm)를 이용하여 2 L/min의 속도로 감압 여과하고 여과한 필터를 50 mL 원심관에 넣어 아세톤으로 필터를 용해한 후 아세톤으로 50 mL까지 채워 1,050×g로 10분간 원심분리해서 농축했다. 원심분리 후 상층액(20 mL)을 흡인 제거하고, 다시 아세톤으로 50 mL를 채워 filter의 잔재물이 모두 제거될 때까지 같은 방법으로 3회 이상 원심분리를 반복했다. 다음 PBS(T+) (phosphate-buffered saline Tween(2% Tween80))를 가하여 다시 1,050×g로 10분간 원심분리하고 상층을 20 mL 제거한

후 주사기로 Percoll(SIGMA) 30 mL를 원심관 바닥에서부터 천천히 주입하고 이때 생긴 2층면이 섞이지 않도록 주의 하면서 1,050×g로 10분간 원심 분리했다. 원심분리 후 원심관의 위층에서부터 PBS층, 계면층(대략 원심관 30 mL부근), Percoll층이 형성되었고, 하부에는 침전물이 쌓였다. 계면층에는 oocysts가 선택적으로 농축되는데 스포이드를 이용하여 PBS층 전량, 계면층, Percoll층 일부를 회수해서 새로운 원심관으로 옮겨, PBS(T-)(phosphate-buffered saline)로 1,050×g로 10분간 2회 이상 원심분리를 반복했다. 이것을 다시 감압 여과해서 10 mL만을 남기고 상층부를 제거했다.

(2) FITC 염색

10 mL의 시료를 membrane filter(Cellulose Acetate filter, 3.0 um, 25 mm, 25 nm)위에 포집해서 PBS(T-)(phosphate-buffered saline), BSA(bovine serum albumin), NGS(normal goat saline) 순으로 각각 1 mL씩 반응시켰다. 이 필터를 슬라이드글라스 위에서 1차항체와 반응시켜 암실에서 25분간 정치했다. 그 필터를 PBS(T-), BSA, NGS 순으로 각각 1 mL씩 반응시켜 1차항체의 특이적인 반응 후 2차항체를 가해서 암실에서 25분간 정치한 후 다시 PBS(T-), BSA, NGS 순으로 각각 1 mL씩 반응시켰다. 이 필터를 슬라이드글라스 위에서 DAPI(4'6-diamidino-2-phenylindole) 50 uL를 가해 약 1분간 실온에서 정치시켰다. 이 필터를 30, 70, 90%의 에탄올로 탈수시켜 37°C 배양기에서 5분간 배양한 후 DABCO-글리세롤액을 떨어뜨린 후 커버글라스를 덮어 냉장 보관했다. 그리고 현미경을 바로 관찰하지 않을 경우 냉장 보관하였으며 3일 이내에 현미경 관찰을 끝냈다.

(3) 현미경 관찰

모든 시료를 FITC 간접형광항체염색에 정색의 특이형광을 나타낸 원형의 입자로 4~6 um의 크기의 fluorescence, size, shape로 이를 oocysts라고 판정했고 최종적으로 미분간섭(D.I.C.) 현미경을 통해 oocysts를 계수했다. *Giardia*인 경우도 동일한 방법으로 크기가 8~12 um인 cysts를 같이 계수했다. FITC 간접형광항체염색법(Indirection Immunofluorescence Assay)으로 형광현미경(Axioskop 2 HAL 100 Carl Zeiss)을 이용하였으며, FITC, PI, DAPI로 모두 관찰이 된 경우만 *Cryptosporidium* oocysts나 *Giardia* cysts로 판정하여 미분간섭현미경으로 확인하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. *Cryptosporidium*과 수질지표항목과의 상관성

Fig. 2는 2002년과 2004년 동안 지점별 수질분석항목의 변화를 비교한 것이다. 그림에서 상류인 중동교에서 하류인 교령교로 갈수록 BOD, T-N, T-P 농도가 모두 증가하고 있으며 년도별 변화는 거의 없는 것으로 나타났다. 그리고 상류지점인 낙단교에서는 하류인 교령교 지점보다 수질이 양호하나 2002년 9월에는 40 oocysts/20 L로 하류인 교령교 지점 26 oocysts/20 L 보다 많이 검출되었고 상류지점에서는 수질이 양호하여도 꾸준히 검출되고 있음을 확인하였다. Fig. 3에 *Cryptosporidium*과 수질지표항목과의 상관성을 나타냈다. 총 3년간의 분석결과 전반적으로 낙동강 본류 6개 지점과 지류 3지점을 대상으로 한 결과에서 수질지표항목과 *Cryptosporidium* 분포와의 상관성은 매우 낮게 나타났다. pH(R²

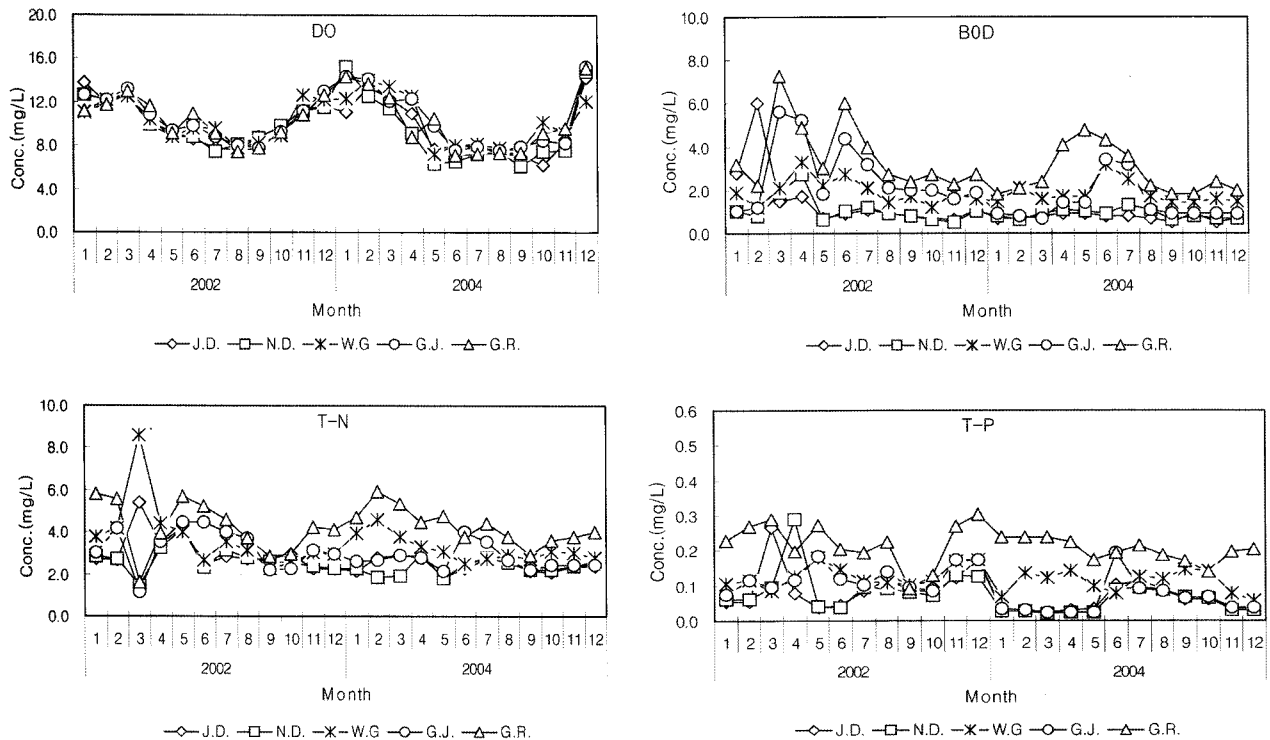


Fig. 2. Comparison of water quality in the sampling points.

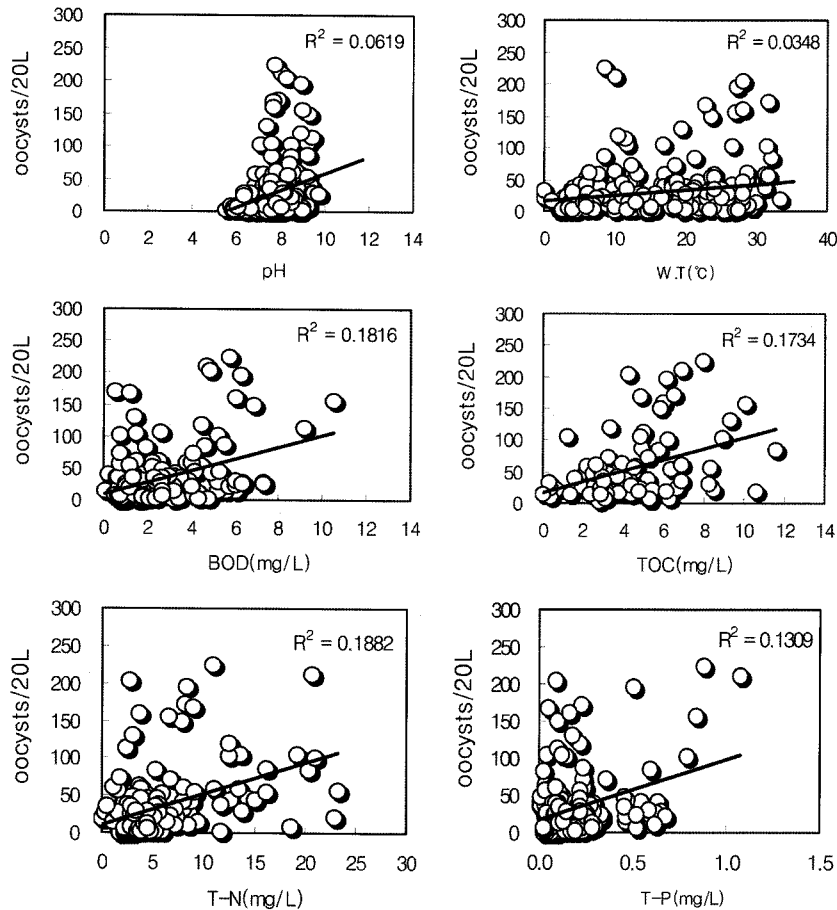


Fig. 3. Relationship between water quality(pH, Temp. BOD, TOC, T-N, T-P) and *Cryptosporidium*.

= 0.0619), 온도($R^2 = 0.0348$), BOD($R^2 = 0.1816$), TOC($R^2 = 0.1734$), T-N($R^2 = 0.1882$), T-P($R^2 = 0.1309$)로 대체로 상관성이 낮게 나타났다. *Cryptosporidium* 분포와 일반 수질지표 항목과의 관련성을 뚜렷하게 찾을 수는 없었으나 앞으로 안전한 먹는 물 확보를 위한 낙동강 수질관리를 위해서 다양한 측면에서 *Cryptosporidium* 분포특성에 대한 지속적인 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다. Fig. 4는 9개 지점 중 고령교 지점을 대상으로 년도별 BOD와 유량 변화에 따른 *Cryptosporidium* 분포 경향을 살펴보았다. BOD의 경우, 대체로 2001년도와 2002년도에 월별 변화가 심하고 2004년에는 점차 감소하는 경향을 보였다. *Cryptosporidium*의 경우도 2001년과 2002년에는 4~9월에 증가하다가 10월 이후로 감소하는 경향을 보였다. 2004년은 BOD가 4월부터 7월까지 증가하다가 8월부터 다시 감소하는 경향을 보였으나 *Cryptosporidium*은 뚜렷한 변화 없이 대체로 10 oocysts/20 L 이하로 적게 검출되고 있는 것을 확인할 수 있었다. 유량의 경우도 BOD와 비슷한 경향을 나타냈다. 2001년과 2002년 유량 변화에 따른 *Cryptosporidium* 변화를 확인하였으며 2002년 3월에서 5월의 봄철 동안 유량이 점차 증가할수록 *Cryptosporidium*도 같이 증가하고 있었다. 그러나 대체로 년도별로 유량이 감소함에 따라 *Cryptosporidium*도 감소하고 있어 유량이 *Cryptosporidium* 검출에 영향을 미친 것으로 판단된다.

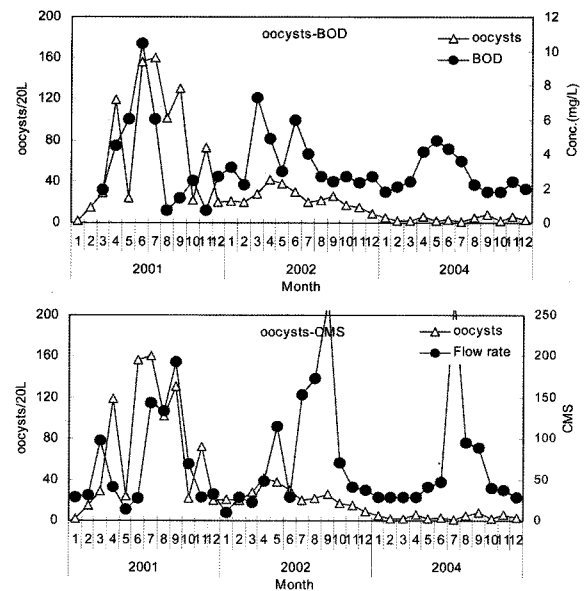


Fig. 4. Comparison of *Cryptosporidium* and BOD/flow rate at Goryeung point.

3.2. *Cryptosporidium*과 유량과의 상관성

Fig. 5에서는 2001년 1월에서 12월까지 1년 동안의 계절별 낙동강 본류인 낙단교, 왜관교, 고령교, 현풍 지점을 중

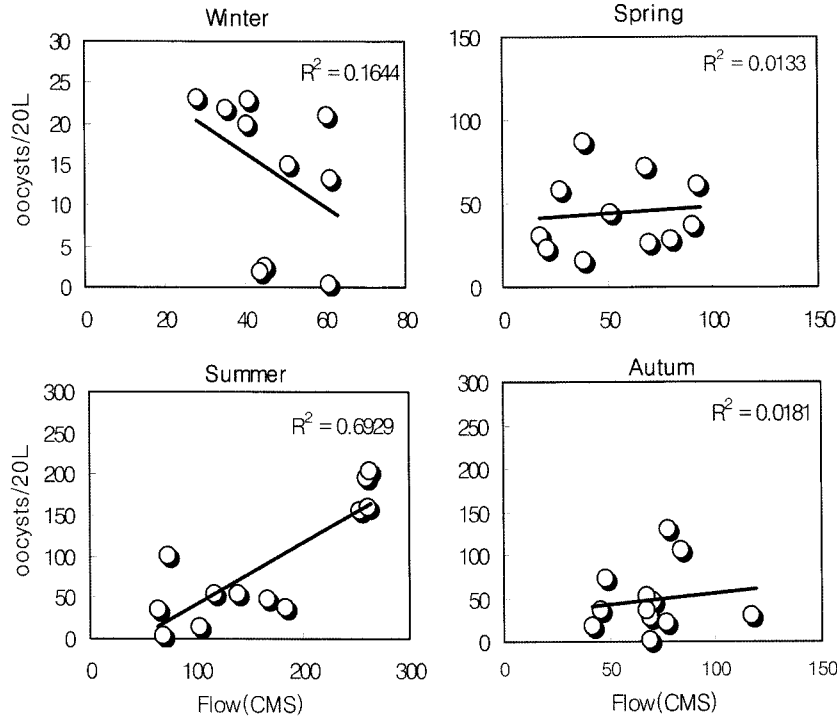


Fig. 5. Relationship between flow rate(Nakdong river) and *Cryptosporidium*(2001 year).

심으로 유량과 *Cryptosporidium*과의 상관성을 나타냈다. 각 지점별 유량은 갈수기를 지나 3월에 조금 증가되었으나 장마기간 전까지는 유량이 적었으며 6월과 7월, 8월에 다시 증가함을 보였다. 그러나 9월부터 12월까지의 유량은 일정하게 분포하고 있었으며 이 때 *Cryptosporidium* 검출은 앞에서 나타낸 것과 같이 4월에 가장 많이 검출되었고, 1월에 가장 낮게 검출되었다. 겨울철에는 유량이 적을 때 오히려 *Cryptosporidium* 검출이 높게 나타나는 경향을 보였으며, *Cryptosporidium*과 유량과의 상관성이 낮은 $R^2 = 0.1644$ 였다. 봄에는 유량이 다소 증가해서 중상류인 낙단교에서 3월에 유량이 90.3 CMS일때 *Cryptosporidium*이 38 oocysts/20 L, 현풍이 92.4 CMS으로 가장 높을 때 *Cryptosporidium*이 62 oocysts/20 L로 높게 검출되었다. 봄철 *Cryptosporidium*과 유량과 상관성은 $R^2 = 0.0133$ 이었다. 여름철인 6~8월 동안 유량과 *Cryptosporidium*은 $R^2 = 0.6929$ 로 높은 상관성을 보였다. 고령과 현풍지점에서 6월과 7월에 유량이 각각 253.7 CMS, 259.5 CMS, 260.5 CMS, 263.0 CMS일 때 *Cryptosporidium*은 각각 156 oocysts/20 L, 196 oocysts/20 L, 160 oocysts/20 L, 204 oocysts/20 L로 높게 검출되었다. 가을에는 봄과 비슷한 경향으로 상관성이 $R^2 = 0.0181$ 로 낮게 나타났다. 계절별로 유량과 뚜렷한 상관성을 찾을 수 없었지만 여름철동안은 아주 높은 상관성을 보이고 있었다. 이것은 여름철 유량이 많을수록 *Cryptosporidium*의 검출이 높게 나타날 수 있음을 예측할 수 있다. *Cryptosporidium*이 여름철 하천 유량에 영향을 받는다면 강우의 영향이나 하천 주변 환경 등의 영향도 배제할 수 없을 것이다. 그리고 *Cryptosporidium*과 *Giardia*와의 높은 상관성을 고려할 때 *Giardia*도 유량과 상

관성이 있음을 간접적으로 확인 가능하다. 문헌 조사 결과⁸⁾ 영국과 미국의 경우 *Cryptosporidium* oocysts는 강우와 높은 상관성이 있음을 밝혔으며 특히 폭우와 토양표면에 흐르는 많은 빗물의 하천유입과 침전 그리고 탁도와와의 상관성을 밝혔다. 본 연구에서는 강우량과의 뚜렷한 상관성을 밝혀 내지 못했지만 여름철 유량과 *Cryptosporidium*과의 상관성이 있는 것으로 나타나 낙동강의 경우, 특히 여름철의 경우는 *Cryptosporidium* oocyst의 분포와 상당한 연관성이 있으며, 강우에 의한 탁도의 영향도 생각해볼 수 있다. 따라서 하천의 유량변화에 가장 높은 영향을 미치는 여름철의 집중적인 강우시, 하천의 적절한 관리와 정수장의 수처리 관리가 매우 중요함을 알 수 있다.

3.3. 계절별 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 분포

Fig. 6과 Table 2는 9개 지점 중 고령교 지점에서 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 3년간 검출 결과를 나타낸 것이다. 낙동강 본류와 지류의 9개 지점 중 금호강이 합류된 후의 고령교 지점에서 2001년 7월에 160 oocysts/20 L, 9월 189 cysts/20 L로 가장 많이 검출되었고, 2002년에는 50 oocysts/20 L, 55 cysts/20 L 이하로 검출되었으며, 2004년은 *Cryptosporidium*과 *Giardia* 모두 10(oocysts)/20 L 이하로 검출되고 있었다. 다른 채수 지점에서와 같이 고령교 지점에서도 2001년 봄철 강우량의 증가를 보였던 봄에서 늦은 여름철 동안 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 검출이 높게 나타났으며 겨울철에는 낮은 검출을 보였다. 계절적인 변화 결과, 본 연구에서는 다른 문헌⁸⁻¹¹⁾과 비슷한 여름철과 늦여름(6월~9월)에 높게 검출되는 경향을 보였다.

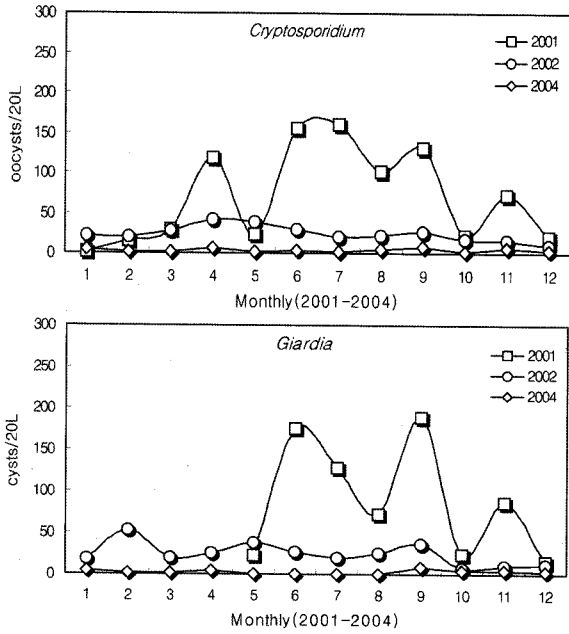


Fig. 6. Monthly change of *Cryptosporidium*/*Giardia*(Goryeung).

3.4. 년도별 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 분포

Fig. 7과 8은 낙동강 본류 5지점 중 5월과 9월을 중심으로 년도별 *Cryptosporidium*과 *Giardia* 분포 경향을 나타냈다. 지점별로 낙동강에서 2001년 5월에 *Cryptosporidium*과 *Giardia* 모두 높게 검출되었으며 2002년도는 교령교 지점에서 높게 검출되는 경향을 보였다. 2001년 9월에는 *Cryptosporidium*과 *Giardia* 각각 131 oocysts/20 L, 189 cysts/20 L로 가장 높게 검출되었고 2002년도에도 교령교 지점이 다른 지점에 비해 높게 검출되었다. 3년간의 검출결과 거의 모든 지점에서 2002년에는 2001보다 낮은 검출을 보였으며 2004년 동안에는 *Cryptosporidium*과 *Giardia* 검출이 측정된 모든 지점에서 대략 10(oocysts)/20 L로 낮게 검출되었다. *Cryptosporidium*의 경우 5월에 지점별로 년도별 변동이 낮게 나타났으며 9월의 경우 여름철 강우와 태풍의 영향으로 지점별 검출변동이

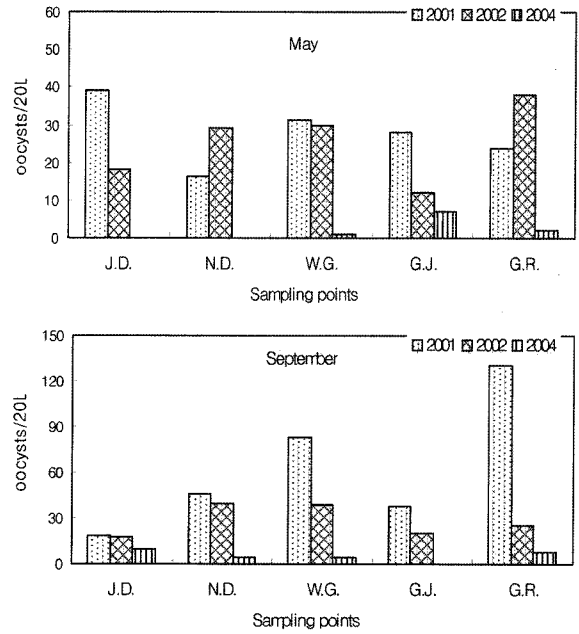


Fig. 7. Occurrence of *Cryptosporidium* in the sampling points(2001-2004 year).

크게 나타난 것으로 판단된다. 년도별로 각 지점별 분포경향을 살펴보면 2001년 5월과 9월을 중심으로 2002년에는 2001보다 낮은 검출을 보였으며 2004년 동안에는 *Cryptosporidium*과 *Giardia* 검출이 측정된 모든 지점에서 대략 10(oocysts)/20 L로 낮게 검출되었다. *Cryptosporidium*의 경우 5월에 지점별로 년도별 변동이 낮게 나타났으며 9월의 경우 여름철 강우와 태풍의 영향으로 지점별 검출변동이

3.5. 오염원에 따른 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 검출

Fig. 9에 나타난 결과는 채수량을 100 L로 환산해서 나타내 것으로, 특정 오염원의 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 확인 실험을 위해 상수원으로 이용되는 세 지점의 댐과 공단유출수, 가정하수, 혼합축산폐수(I), 축산폐수(II), 축산폐수(III), 그리고 강정지점을 대상으로 조사했다. 강정지점은 *Cryptosporidium*

Table 2. Occurrence of *Cryptosporidium*/*Giardia* in Goryeung point(2001-2004 year)

Goryeung	2001		2002		2004	
	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Giardia</i>
Monthly						
January	2	-	21	18	5	4
February	15	-	20	53	2	1
March	29	-	28	19	2	1
April	119	-	42	25	6	4
May	24	22	38	37	2	0
June	156	175	30	26	3	0
July	160	128	20	19	1	0
August	102	73	22	25	5	0
September	131	189	26	36	8	8
October	22	24	17	7	2	4
November	73	87	15	10	6	4
December	20	16	9	11	3	3

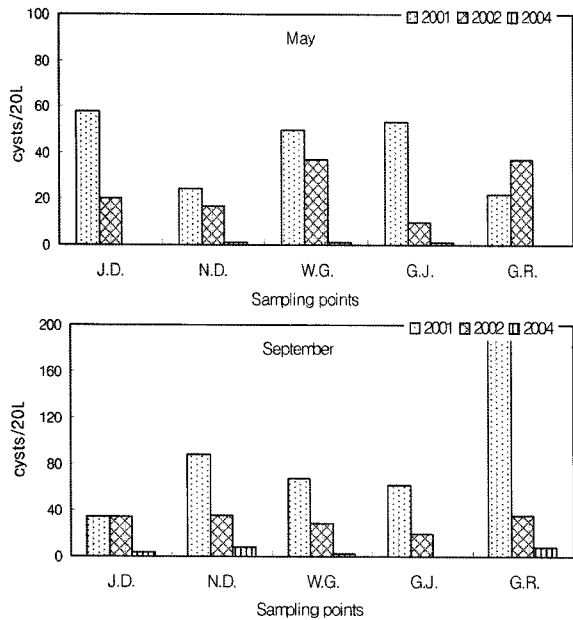


Fig. 8. Occurrence of *Giardia* in the sampling points(2001-2004 year).

*poridium*이 28 oocysts/20 L, *Giardia*는 53 cysts/20 L로 높았고, 혼합축산폐수(I)과 축산폐수(II)에서 *Cryptosporidium*과 *Giardia*가 각각 520 oocysts/20 L와 160 cysts/20 L, 286 oocysts/20 L와 293 cysts/20 L로 검출되었다. 따라서 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 농도는 축산폐수의 영향이 클 수 있었다. 가정하수에서는 *Cryptosporidium*만 17 oocysts/20 L로 검출되었고 *Giardia*는 검출되지 않았다. 그리고 공단 유출수에서는 *Cryptosporidium*이 27 oocysts/20 L, *Giardia*가 43 cysts/20 L로 검출되어 처리공정을 거쳐도 쉽게 제거되지 않음을 알 수 있었다. 가창댐을 제외한 공산댐과 운문댐에서도 *Cryptosporidium*과 *Giardia*가 각각 6 oocysts/20 L, 18 cysts/20 L, 17 oocysts/20 L, 28 cysts/20 L로 검출되고 있어 상수원수로 이용되고 있는 지표수로써 효율적인 관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다. *Giardia*인 경우 축산폐수(II)에서 293 cysts/20 L로 가장 많이 검출되었고, 혼합축산폐수(I)는 160 cysts/20 L, 축산폐수(III)는 93 cysts/20 L 순으로 검출되었다. 문헌 자료에서도 하천수에서 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 검출농도를 축산폐수와 높은 상관성이 있으며, 처리한 축산폐수와 처리되지 않은 축산 폐수 모두에서 *Cryptosporidium*과 *Giardia*이 높은 농도로 검출되었다고 보고하고 있어¹²⁾ 축산폐수의 처리개선과 하천수로 유입되는 오염원을 차단함으로써 집중적인 수질관리가 필요하다고 판단된다.

3.6. *Cryptosporidium*/*Giardia* 및 탁도와와의 상관성

Fig. 10은 2001년, 2002년, 2004년 3년 동안의 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 상관성을 나타냈다. 그림에서 보듯이 *Cryptosporidium*이 검출되는 지점은 *Giardia*도 검출됨을 알 수 있었고 대체로 *Giardia*가 높게 검출됨을 알 수 있었으며,^{2,13)} 현재 조사된 낙동강 본류에서는 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 상관성이 $R^2 = 0.8432$ 로 높게 나타났다.

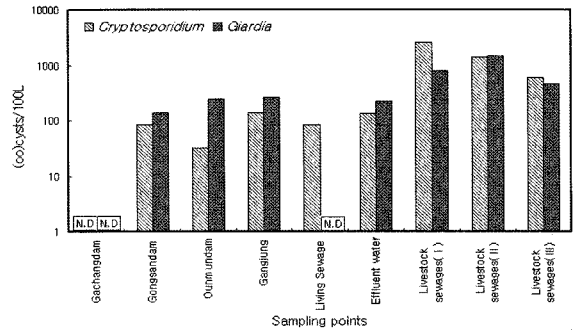


Fig. 9. Occurrence of *Cryptosporidium* and *Giardia* in the pollution sources.

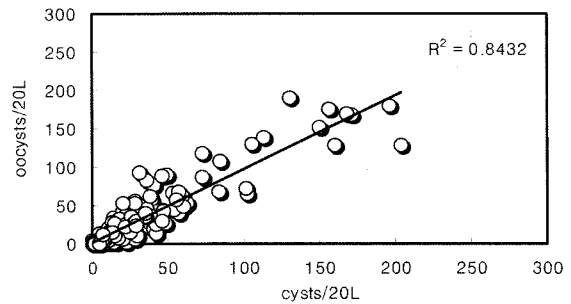


Fig. 10. Relationship between *Cryptosporidium* and *Giardia*.

Fig. 11에서는 2002년 1월에서 12월동안 일반 수질분석항목 중 탁도와 *Cryptosporidium* 및 *Giardia*와의 상관성을 나타냈다. 탁도가 20 NTU 이상일 때 *Cryptosporidium*과 *Giardia*가 높게 검출됨을 알 수 있었다. *Cryptosporidium*의 경우 전체 탁도와와의 상관성은 $R^2 = 0.4914$ 로 탁도가 20 NTU 이하일 때 $R^2 = 0.2306$ 으로 낮은 상관성을 보였으며 검출 개수가 일정하지 않고 분포경향의 변화가 크지만 20 NTU 이상일 경우는 $R^2 = 0.3538$ 로 20 NTU 이하일 때보다 다소 높은 상관성을 보였으며 탁도가 높을 수록 검출 양도 증가하고 있었다. *Giardia*의 경우 상관성이 $R^2 = 0.6176$ 로 *Cryptosporidium*보다 높은 상관성을 나타냈으며 *Cryptosporidium*과 같이 20 NTU 이상일 때가 $R^2 = 0.4373$ 로 나타나 탁도가 높을 수록 검출 양이 안정적으로 증가하고 있음을 확인 하였다. 그리고 *Cryptosporidium*보다 *Giardia*가 더 높은 상관성을 보였다. 탁도가 20 NTU 이상일 때 각 지점별로 *Cryptosporidium*은 최소 11 oocysts/20 L에서 최대 59 oocysts/20 L로 거의 20 oocysts/20 L 이상 검출되었으며, *Giardia*의 경우도 최소 6 cysts/20 L에서 최대 42 cysts/20 L로 대체로 20 cysts/20 L 이상 검출되었다. 다른 문헌 연구에서도 농업지역의 소하천 표면수에서 이들 원생동물의 검출농도가 증가 하고 원생동물의 이동 매체는 하천의 유속과 탁도를 통해 이동된다고 밝히고 있어¹²⁾ 부유물질이나 외부의 오염물질이 수계에 많이 유입되거나 존재해 있다면 상대적으로 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 검출이 증가할 수 있음을 알 수 있다.

4. 결론

- 1) 전체적으로 2001년도에 각 지점별로 많은 검출을 보였

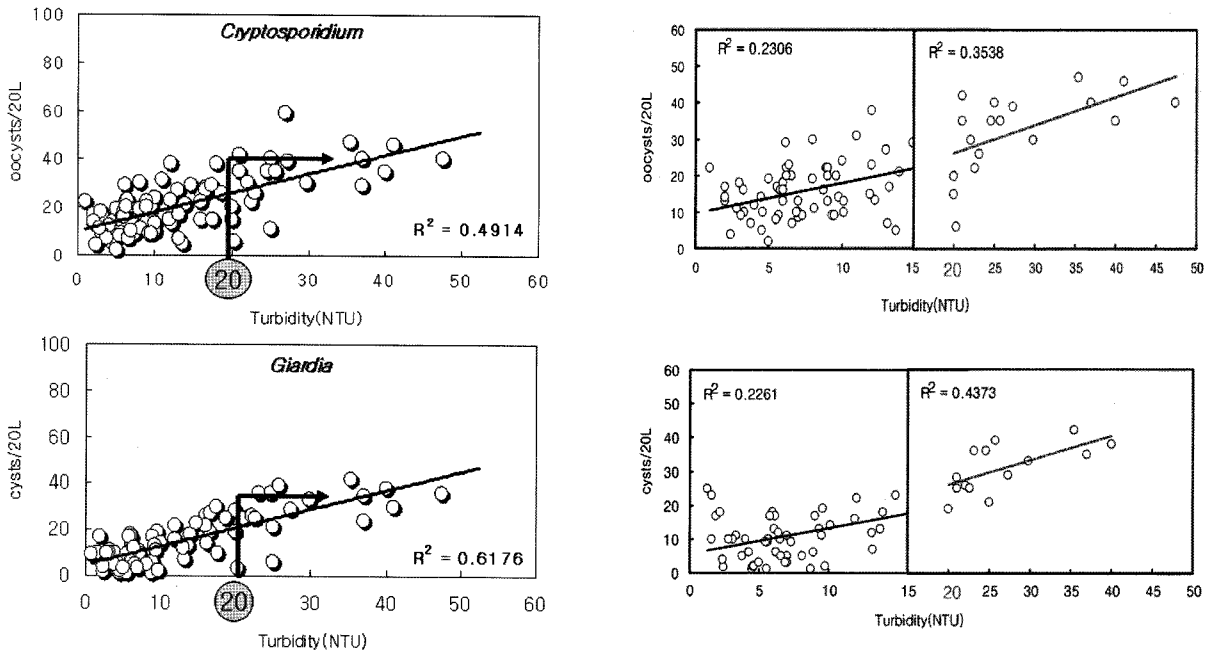


Fig. 11. Relationship between turbidity and *Cryptosporidium*/ *Giardia*(2002 year).

지만 2004년도로 갈수록 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 낮은 검출을 보였으며, 2004년도에는 지점별로 모두 감소하는 경향을 보이고 있었다. 3년간의 검출결과 계절별로는 여름철과 늦여름(6~9월)에 가장 많이 검출되고 있음을 알 수 있었으며 이것은 강우에 의한 영향으로 지류하천 등이 낙동강 본류로 유입된 결과라고 판단된다.

2) 오염원에 따른 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 농도는 축산폐수의 영향이 큰 것으로 나타났다. 가정하수나 공단 유출수에서는 다소 낮은 농도로 검출되었으며 공산댐과 운문댐에서도 역시 낮은 농도로 검출되었지만 상수원으로 이용되고 있는 점을 고려해 볼 때 보다 효율적인 관리가 이루어져야 한다. 그리고 축산폐수나 하수 등 비점오염원의 하천 유입을 미리 차단하는 등 수계의 지속적인 관리가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

3) *Cryptosporidium*과 수질지표분석항목은 낮은 상관성을 보였으나 탁도와는 상관성에서는 *Cryptosporidium*의 경우 $R^2 = 0.4914$, *Giardia*는 $R^2 = 0.6176$ 으로 나타나 탁도와 상관성이 있음을 확인했으며 탁도가 20 NTU 이상일 때 *Cryptosporidium*과 *Giardia*이 20(oo)cysts/20 L 이상 높게 검출됨을 확인하였다. 따라서 부유물질이나 외부의 오염물질이 수계에 많이 유입되거나 존재해 있다면 상대적으로 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 검출이 증가할 수 있음을 알 수 있었다.

4) *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 상관성($R^2 = 0.8432$)이 높은 것으로 조사되었다. 각 지점별로 *Cryptosporidium*과 *Giardia*는 동시에 검출되고 있었으며, *Giardia*의 농도가 대체로 높게 나타났다. 2004년 7월 1일부터 먹는 물 수질기준 강화로 정수처리시 *Giardia*의 제거율이 $3\log(99.9\%)$ 로 강화되어 낙동강 하천수의 수질 개선에 따른 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 검출 변화에 있어 꾸준한 연구가 이루어져야 할 것으로 판단된다.

사 사

본 연구는 경북환경기술개발센터의 2004년도 연구개발사업 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Lechevallier, M. W., Norton, W. D., Atherholt, T. B., "Protozoa in open reservoirs," *J. AWWA*, **89**(9), 84~96 (1997).
2. 이복영, 김도연, 조은주, 이의광, 오세중, 이채근, 하영철, "1623방법에 의한 서울시 상수도계통의 지아디아 및 크립토스포리디움 검출", *한국물환경학회지*, **16**(5), 595~608(2000).
3. 염철민, 윤재용, 김혜선, "ICR(Information Collection Rule) 방법에 의한 한강과 금강 수계 상수 원수에서의 *Cryptosporidium*과 *Giardia* 포낭의 검출," 1999년 한국물환경학회 춘계학술발표회 논문초록집, 101~104(1999).
4. Kim, Y. H., Kim, J. K., Lee, C. H., Lee, S. H., "A Survey of *Cryptosporidium* Characteristics in the Nakdong River Basin," *J. of KSEE*, **24**, 1253~1261(2002).
5. Clancy, J. L. and Hansen, J., "Uses of Protozoan monitoring data," *J. AWWA*, **91**(5), 51~65(1999).
6. Hu, J., Feng, Y., Ong, S. L., Ng, W. J., Song, L., Tan, X., Chu, X., "Improvement of recoveries for the determination of protozoa *Cryptosporidium* and *Giardia* in water using method 1623," *J. Microbiological Methods*, **58**, 321~325(2004).
7. 麻布大學環境保健學部健康環境科學科 水環境學研究室,

- クリプトスポリジウム試験法, Ver.3.2(1999).
8. Bodley-Tickell, A. T., Kitchen, S. E., Sturdee, A. P., "Occurrence of *Cryptosporidium* in agricultural surface waters during an annual farming cycle in lowland UK," *J. Water Res.*, **36**, 1880~1886(2002).
 9. Hashimoto, A., Kunikane, S., Hirata, T., "Prevalence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in the drinking water supply in Japan," *Water Res.*, **36**, 519~526 (2002).
 10. Carrie M., Hancock, Joan B., Rose, Michael Callahan, "Crypto. and *Giardia* in US groundwater," *J. AWWA*, **90**(3), 58~61(1998).
 11. Paul Gale, Geoff Stanfield, "Cryptosporidium during a simulated outbreak," *J. AWWA*, **92**(9), 105~116(2000).
 12. Medema, G. J., Shijven, J. F., "Modelling the Sewage Discharge and Dispersion of *Cryptosporidium* and *Giardia* in Surface Water," *Water Res.*, **35**(18), 4307~4316(2001).
 13. Crockett, C. S., Hass, C. N., "Understanding protozoa in your watershed," *J. AWWA*, **89**(9), 62~73(1997).