

국내 5만톤/일 이상 대규모 정수장 원수에서 크립토스포리디움 및 지아디아 분포특성

박상정[†] · 김종민 · 김태승 · 정동일 · 이목영^{*} · 남세희^{**} · 윤종호^{***} · 정종문^{****} · 조은주^{*} · 전현숙^{**} · 장은숙^{***} · 정미은^{****}

국립환경과학원
^{*}서울시 상수도연구원
^{**}한국수자원공사 수돗물분석연구센터
^{***}대구시 수질연구소
^{****}부산시 수질연구소

Distributional Characteristics of *Cryptosporidium* and *Giardia* in Raw Water of Large Water Treatment Facility in Korea

Sangjung Park[†] · Jongmin Kim · Taeseung Kim · Dongil Chung · Mokyoung Lee^{*} · Sehee Nam^{**} · Jongho Yoon^{***} · Jongmoon Jung^{****} · Eunjoo Cho^{*} · Hyensook Jeon^{***} · Eunsook Jang^{***} · Mieun Chung^{****}

National Institute of Environmental Research
^{*}Seoul Metropolitan waterworks Research Institute
^{**}Korea water Resources Corporation
^{***}Daegu Metropolitan waterworks Research Institute
^{****}Busan Metropolitan waterworks Research Institute

(Received 28 September 2009, Revised 23 December 2009, Accepted 30 December 2009)

Abstract

In order to evaluate the distribution level of *Cryptosporidium* and *Giardia* in drinking water resources, distribution of *Cryptosporidium* and *Giardia* was studied in intake water of main water treatment facility with treatment capacity over 50,000 ton/day in Korea. 10 L samples from each study sites were collected quarterly for 2 years between Oct. '04 and Dec. '07. *Cryptosporidium* and *Giardia* were filtered and concentrated by capsule filter and centrifugation, and analyzed by immunomagnetic separation process and fluorescent assay. *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts were detected in 7.0% and 9.3%, respectively, of a total 776 samples from 97 study sites. And mean detection number of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in total 776 samples was 0.11/10 L, 0.16/10 L, detection range of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts was 0~7/10 L, 0~4/10 L, respectively. In seasonal distribution, *Cryptosporidium* was more frequent in spring as 9.2% than other season, *Giardia* was more frequent in winter as 14.6% than other season, but there was not shown significant seasonal characteristics. In correlation analysis with total 776 data, *Cryptosporidium* had significant correlation to total coliforms at the 0.05 level, but correlation value was too low as 0.07 ($r=0.07$). In case of *Giardia*, what had significant correlation at the 0.05 level was total coliforms and fecal coliforms, but correlation value was too low as 0.26, 0.27 respectively.

keywords : *Cryptosporidium*, Fluorescent assay, *Giardia*, Immunomagnetic separation, Water treatment facility

1. 서론

수돗물을 생산하는 과정에서의 병원성 미생물 오염문제는 사람의 건강과 직접적으로 관련되는 문제이기 때문에 일반대중 및 상수도 공급자에게는 매우 중요한 관심사가 아닐 수 없다. WHO에서는 오염된 먹는 물 또는 음식을 통해 발생하는 질병이 인간이 갖는 전체 질병의 80%를 차지한다고 하였다. 특히 전 세계 환자의 절반 가량이 물과

관련된 질병환자로 채워져 있다고 밝힌 바 있듯이 병원성 미생물로부터 안전한 수돗물의 생산은 그만큼 중요하다고 할 수 있다.

1900년대 초반 하더라도 먹는 물에 포함된 수인성 질병 원인 미생물인 장티푸스, 콜레라 등 병원성 세균으로 인해 인간의 건강에 많은 위해가 있었으나, 정수처리과정에서의 소독이라는 개념이 도입되고, 관리기술 및 위생수준이 향상됨에 따라 공공급수를 통한 수인성 질병은 크게 감소하였다. 그러나 최근 병원성 세균에 의한 질병은 크게 감소한 반면, 선진국 등에서는 일반적인 정수처리과정 중의 염소소

[†] To whom correspondence should be addressed.
parkjoe@korea.kr

독으로 제어하기 어려운 염소내성이 매우 강한 병원성 미생물에 의한 대형 오염사고가 빈발하여(MacKenzie et al., 1994) 이들 미생물의 제어 및 관리에 관심이 집중되어 왔다. 국내에서도 1997년 수도물에서 병원성 바이러스가 검출된다는 논란이 제기되었고, 실제 일부 중소규모 정수장의 정수에서 바이러스가 검출됐음이 국내 정수장 바이러스 분포조사에서 확인된 바 있다. 이로 인해 환경부(2002)에서는 이들 병원성 미생물에 대한 체계적인 관리를 위해 2002년 '정수처리에 관한 기준'을 제정하였고, 후속 조치로서 국립환경과학원에서 2004년 '원생동물 표준시험방법'과 '원생동물 검사기관 지정 등에 관한 규정'을 마련하였다.

'정수처리에 관한 기준'은 바이러스 4로그, 지아디아 3로그 제거를 목표로 하고, 이를 달성하기 위해 탁도기준과 소독능의 요건을 만족하도록 하고 있는데, 이는 미국의 정수처리 제도를 인용한 것으로 미국과 거의 동일한 수준이다. 그러나, 미국과 국내의 병원성 미생물 오염실태는 다를 수밖에 없으므로, 우리나라 실정에 맞는 병원성 미생물 기준을 위해서는 이들 병원성 미생물에 대한 분포실태조사가 반드시 필요하다고 할 수 있다.

우리나라의 경우 병원성 원생동물 오염실태 조사는 거의 제한적이다. 1995년도에 백혈병 환자에서 첫 인체 감염사례가 보고되었고(채종일 등, 1990; Kang et al., 1995), 일부 연구진에서 시행된 역학조사 결과 전라남도 화순군 일부 주민에서 약 40%의 주민이 포낭을 배출하는 것으로 밝혀지는 등(Chai et al., 1996) 몇몇 감염사례가 보고된 바 있으나(Seo et al., 2001; Yu et al., 2004), 환경시료와 관련해서는 일부 상수원수 및 하수처리장 배출수에서 분포실태조사를 발표한 것 이외(김혜선 등, 2000; 박상정 등, 2008; 이목영 등, 2000), 상수원과 관련된 전국적인 분포를 파악할 수 있는 조사는 전무하다고 할 수 있다.

이번에 조사된 원생동물 분포실태조사는 처리용량이 5만 톤/일 이상 되는 주요 정수장 원수에서 염소내성 병원성 미생물인 크립토스포리디움과 지아디아의 분포실태를 실시한 국내 최초의 전국단위 오염실태 조사로서, 국내에서의 크립토스포리디움 및 지아디아의 분포특성 등을 이해하는데 뿐만 아니라 국내 상수도 정책을 수립하는 데에도 중요한 자료가 될 것으로 사료된다.

2. 연구 방법

2.1. 조사지점 및 조사방법

본 조사는 시설용량이 5만톤/일 이상 되는 전국 97개 정수장 원수를 대상으로 2004년 4/4분기부터 2007년 4/4분기까지, 정수장별로 분기별 1회씩 2년간 총 8회가 조사되었으며, 상수원수의 지아디아 및 크립토스포리디움 검출현황 조사와 이들 미생물과의 상관관계를 위해 수온, pH, 탁도, 총대장균군 및 분원성대장균군 조사를 병행하였다. 조사대상 정수장은 한강수계 45개, 낙동강수계 28개, 금강수계 14개 지점 및 섬진강수계 10개 지점을 대상으로 하였다. 시료의 분석은 서울시 상수도연구원, 부산시 수질연구소, 대

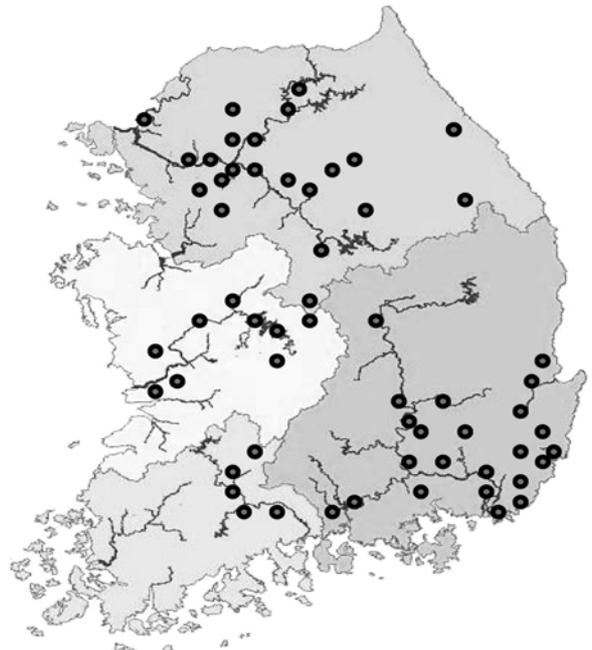


Fig. 1. Intake water spot of water treatment facility with over 50,000 ton/day in Korea.

구시 수질연구소, 한국수자원공사 수도물분석연구센터 등 4개 기관에서 분석하였으며, 분석결과를 토대로 국립환경과학원에서 평가하였다.

2.2. 분석방법

먹는물수질검사기관 원생동물분야 지정 등에 관한 규정에 포함된 국내 원생동물 표준시험방법에 따라 분석을 실시하였다. 시료의 채취는 조사지점으로부터 10 L를 채취한 후, 정량펌프를 사용하여 2 L/min의 유속으로 캡슐필터에 여과하였고, 여과된 캡슐필터에 추출완충용액을 넣고 팔 달린 진탕기를 이용, 탈리시킨 후 탈리된 용액을 1,500 g, 15분 동안 원심분리하였다. 침전물이 부유되지 않도록 상층액을 버린 후, 농축된 침전물 전량을 리톤시험관으로 옮기고, 농축된 침전물이 담긴 리톤시험관에 (난)포낭만을 분리·정제하기 위해 면역자기분리용 키트를 이용하였다. 면역자기분리는 키트에 포함된 10×SL-buffer A, 10×SL-buffer B 용액을 각각 1 mL씩 주입하고 리톤시험관 내 용액의 최종부피가 12 mL가 되도록 한 다음 anti-*Cryptosporidium* 자기체와 anti-*Giardia* 자기체를 각각 100 μL씩 넣어 회전혼합기에 장착한 후 약 18 rpm으로 최소 1시간 동안 회전시킴으로써 항원-항체반응 결합을 이용한 농축과정이다.

면역자기분리과정을 통해 얻어진 원생동물 (난)포낭은 웰슬라이드에 옮긴 후 고정시키고, 고정된 시료에 고순도 메틸알코올 50 μL를 첨가한 후 건조시켜, *Cryptosporidium* oocysts 및 *Giardia* cysts에 대한 단일항체로 구성된 fluorescence isothiocyanate(FITC) 직접염색키트(Meridian Diagnostics, Inc.)와 4',6-diamidino-2-phenylindol(DAPI) 용액(150 mM PBS 50 mL에 2 mg/mL DAPI 10 μL를 첨가하여 만든 1/5000 희석액)으로 형광염색을 한 후, 현미경(Axioplan,

Carl Zeiss, Germany)으로 관찰, 계수하였다. FITC 형광염색은 Carl Zeiss사의 filterset 23(excitation, DBP 485/20+546/12; beamsplitter, DFT 500+560; emission, DBP 515~530+580~630) 필터를, DAPI 형광염색은 Filterset 01(excitation, BP 365/12; beamsplitter, FT 395; emission, LP 397) 필터를 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 원생동물 검출현황 총괄

정수장 97개소에 대한 2년간 분기별 1회(총 8회) 조사된 시료수는 총 776건이었으며, 지아디아는 72개 시료에서 검출되었고(검출률 9.3%), 크립토스포리디움은 54개 시료에서 검출되었다(검출률 7.0%). 전체 시료 776건에 대한 검출 개체수 산술평균은 지아디아 0.16 개체/10 L, 크립토스포리디움 0.11 개체/10 L이었으며, 최고 검출개체수는 지아디아가 4 개체/10 L, 크립토스포리디움 7 개체/10 L이었다.

본 연구에서 조사된 97개 정수장 중, 취수원수로서 하천수를 사용하는 곳은 35개소였고, 저수지 또는 호소수를 사용하는 곳은 62개소였다. 하천수를 원수로 사용하는 정수장 중 지아디아가 1회 이상 검출된 곳은 16개소(46%)로서 평균 검출 개체수는 0.65 개체/10 L이었으며, 크립토스포리디움이 1회 이상 검출된 곳은 16개소(46%)로, 평균 검출 개체수는 0.44 개체/10 L이었다. 저수지 또는 호소수를 원수로 사용하는 정수장에서 지아디아가 1회 이상 검출된 곳은 16개소(26%)로서 평균 검출 개체수는 0.34 개체/10 L이었으며, 크립토스포리디움이 1회 이상 검출된 곳은 18개소(29%)로 평균 검출 개체수는 0.19 개체/10 L를 나타내었다.

본 결과를 1999년 3월에서 2000년 1월까지 1년간 정수장별로 월 2회 분석한 미국의 ICRSS(Information Collection Rule Supplement Surveys)의 결과(USEPA, 2005)와 비교하였는데, 조사된 전체 정수장 대비 원생동물이 검출된 정수장 비율은 우리나라가 크립토스포리디움 35%, 지아디아가 33%인데 반해, 미국은 크립토스포리디움 85%, 지아디아 83%로 나타나 국내의 상수원수가 미국에 비해 원생동물 오염이 비교적 낮은 것으로 조사되었다. 또한 평균 검출 개체수에 있어서도 우리나라는 크립토스포리디움

0.31 개체/10 L, 지아디아 0.49 개체/10 L 수준이었으나, 미국은 크립토스포리디움 0.6 개체/10 L, 지아디아 2.7 개체/10 L로 높은 수준을 나타내었다.

조사된 정수장 원수를 하천수와 호소수로 구분하여 원생동물 검출정도를 평가한 결과, 하천수가 원수인 경우에는 크립토스포리디움 및 지아디아가 전체 하천수를 원수로 사용하는 정수장 대비 검출 정수장 비율이 46%를 나타내었고, 평균 검출 개체수는 크립토스포리디움 0.44 개체수/10 L, 지아디아가 0.65 개체수/10 L를 나타내어, 미국의 ICRSS의 결과와 비교할 때 낮은 검출 개체수를 나타내었다. 호소수가 원수인 경우에도 본 조사결과와 비교할 때 높은 검출 개체수를 나타내었다.

이는 크립토스포리디움 및 지아디아의 오염원이 주로 소의 분뇨 등 축산폐수가 원인임을 감안할 때 소 등 가축의 사육방법의 차이에 기인한 것으로 판단된다. 미국에서는 소 등의 가축을 넓은 초원에서 방목의 형태로 사육하기 때문에 강우의 영향으로 소의 분뇨 등 오염원이 하천수 및 호소수 등 상수원수로 유입되어 오염도가 높은 것으로 판단되고, 국내의 경우에는 방목이 아닌 대부분 축사에서 사육되고 축산폐수는 축산폐수처리장으로 유입되는 등 점오염원의 형태로 처리되기 때문에 상대적으로 병원성 원생동물에 대한 오염도가 낮은 것으로 판단된다.

3.2. 계절별 원생동물 검출 현황

조사지점을 계절별로(채수일자를 기준으로 3~5월은 봄, 6~8월은 여름, 9~11월은 가을, 12~2월은 겨울로 구분)검토한 결과, 지아디아는 겨울(14.6%)에 가장 높았으며, 크립토스포리디움은 봄(9.2%)에 높게 검출되었다. 또한, 계절별 평균농도를 살펴보면, 크립토스포리디움은 봄(0.17 개체/10 L), 지아디아는 겨울(0.26 개체/10 L)에 상대적으로 높게 나타났으나, 계절 간 뚜렷하게 큰 차이를 나타내지는 않았다.

USEPA(2005)의 결과에 따르면, 급수인구 10만명 이상이 되는 미국 전역의 350개 정수장 원수를 대상으로 1997년 7월부터 1998년 12월까지 월 1회 크립토스포리디움의 분포 실태를 조사한 결과, 6월~9월에 비교적 높은 개체수를 나타내었으며, 11월과 12월은 다른 달과 비교해 낮게 나타난 것으로 조사되었으나, 이외의 나머지 달은 특별한 계절적

Table 1. The number of sample and ratio by detection level of *Cryptosporidium* and *Giardia*

Detection level (number/10 L)	<i>Cryptosporidium</i>		<i>Giardia</i>	
	Number of sample	Ratio (%)	Number of sample	Ratio (%)
Total	776	100.0	776	100.0
7	1	0.1	-	-
6	-	-	-	-
5	1	0.1	-	-
4	-	-	6	0.8
3	4	0.5	10	1.3
2	12	1.5	15	1.9
1	36	4.6	41	5.3
0	722	93.0	704	90.7
Detected sample	54	7.0	72	9.3

Table 2. Comparison of results between this survey and ICRSS

		Number of plants	<i>Cryptosporidium</i>				<i>Giardia</i>			
			Number of plants with positive samples	Mean	Median	90 th (%tile)	Number of plants with positive samples	Mean	Median	90 th (%tile)
This survey	All	97	34 (35%)	0.31	0.00	1.00	32 (33%)	0.49	0.00	2.00
	River	35	16 (46%)	0.44	0.00	2.00	16 (46%)	0.65	0.00	2.00
	Lake	62	18 (29%)	0.19	0.00	1.00	16 (26%)	0.34	0.00	1.00
ICRSS	All	80	68 (85%)	0.6	0.2	1.0	66 (83%)	2.7	0.6	7.4
	Flowing stream	33	32 (97%)	0.9	0.4	1.1	31 (94%)	5.5	2.9	13.0
	Reservoir / Lake	41	32 (78%)	0.4	0.1	0.6	30 (73%)	0.7	0.2	1.3

Table 3. Detection Level of *Cryptosporidium* and *Giardia* according to season

	Season	Total number of sample	Number of detected sample	Detection ratio (%)	Detection ratio to total sample (%)	Mean (/10 L)	Detection range
<i>Cryptosporidium</i>	All	776	54	7	7	0.11	0~7
	Spring	196	18	9.2	2.3	0.17	0~5
	Summer	196	14	7.1	1.8	0.1	0~3
	Autumn	213	10	4.7	1.3	0.05	0~2
	Winter	171	12	7	1.5	0.12	0~7
<i>Giardia</i>	All	776	72	9.3	9.3	0.16	0~4
	Spring	196	15	7.7	1.9	0.13	0~4
	Summer	196	18	9.2	2.3	0.17	0~4
	Autumn	213	14	6.6	1.8	0.1	0~4
	Winter	171	25	14.6	3.2	0.26	0~4

연관성이 없는 것으로 나타났다. 또한, Jose 등(2009)의 결과에서는 스페인의 Tambre강 본류 및 지류 등 29개 지점을 대상으로 1년간 계절별로 크립토스포리디움과 지아디아를 분석하였는데, 봄과 여름에 높게 검출되는 것으로 나타났다. 특히, 봄에는 다른 계절에 비해 감염성을 띠고 있는 개체수가 더 많은 것으로 조사되었다.

이와 같은 연구결과를 종합할 때, 크립토스포리디움 및 지아디아가 계절적으로 뚜렷한 검출특성을 나타낸다고 보다는 조사지점마다 다른 검출특성을 나타낸다고 보는 것이 더 적당하다고 판단된다.

3.3. 원생동물 검출률과 환경 인자와의 상관성

Table 4 및 5는 크립토스포리디움 및 지아디아와 동시에 조사된 수온, pH, 탁도, 총대장균군, 분원성대장균군간의 상관성 검토결과를 나타낸 것이다. 크립토스포리디움 및 지아디아와 관련조사 항목간에는 일부 항목이 통계적으로 유의하였으나 상관성은 낮은 것으로 나타났다. 그러나, 전체 조사시료의 90.7~93%에서 한 건도 원생동물이 검출되지 않았고, 검출되었다 하더라도 최대 4~7 개체/10 L에 불과하여 상관성 분석이 어려웠기 때문인 것으로도 판단된다. 따라서,

조사된 전체 시료 수에 비해 크립토스포리디움 및 지아디아의 검출수와 개체수가 너무 낮거나 적은 것으로 나타나, 검출된 원생동물의 개체수별로 수온, pH, 탁도, 총대장균군 및 분원성 대장균 개체수 범위를 Fig. 2에 나타내었다.

각 검출 개체수별 수온분포를 보면 지아디아의 경우 불규칙한 분포를 나타내었으나, 크립토스포리디움의 경우 검출농도가 증가할수록 수온 분포범위의 중간값(median)은 감소하는 경향을 보이는 것을 관찰할 수 있었다.

pH는 지아디아와 크립토스포리디움 모두 pH 6~10 범위 내 분포하였으며, 중간값(median)의 경우 대부분 pH 7~8 사이에 분포하였으나, 원생동물 농도에 따른 pH 변화양상은 발견할 수 없었다.

탁도의 경우에 있어서는 정수장에서 원생동물 관리를 위한 기본항목으로 중요하게 취급되는데, 호소수의 경우 대부분 콜로이드의 입자와 대단히 미세한 입자에 의하여 발생하고, 하천수의 경우 비교적 굵은 입자들에 의해 야기되는 것으로 알려져 있으나, 본 조사에서 검출된 원생동물 개체수와 탁도와는 거의 연관성이 없는 것으로 판단된다. 크립토스포리디움 및 지아디아 검출 개체수별 총대장균군 및 분원성대장균군 분포도 관련성을 관찰할 수 없었다.

Table 4. Correlation analysis between *Cryptosporidium* and water quality parameters

		<i>Cryptosporidium</i>	Total coliforms	Fecal coliforms	Turbidity	Water temp.	pH
<i>Cryptosporidium</i>	r	1.000	.073*	.073	.002	-.041	.069
	p-value	.	.046	.050	.963	.257	.056
	n	776	742	720	774	769	774
Total coliforms	r		1.000	.785**	.222**	.105**	-.075*
	p-value		.	.000	.000	.004	.041
	n		742	709	742	737	742
Fecal coliforms	r			1.000	.196**	.106**	-.091*
	p-value			.	.000	.005	.015
	n			720	720	715	720
Turbidity	r				1.000	.086*	-.022
	p-value				.	.017	.547
	n				774	769	774
Water temp.	r					1.000	-.185**
	p-value					.	.000
	n					769	769
pH	r						1.000
	p-value						.
	n						774

*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

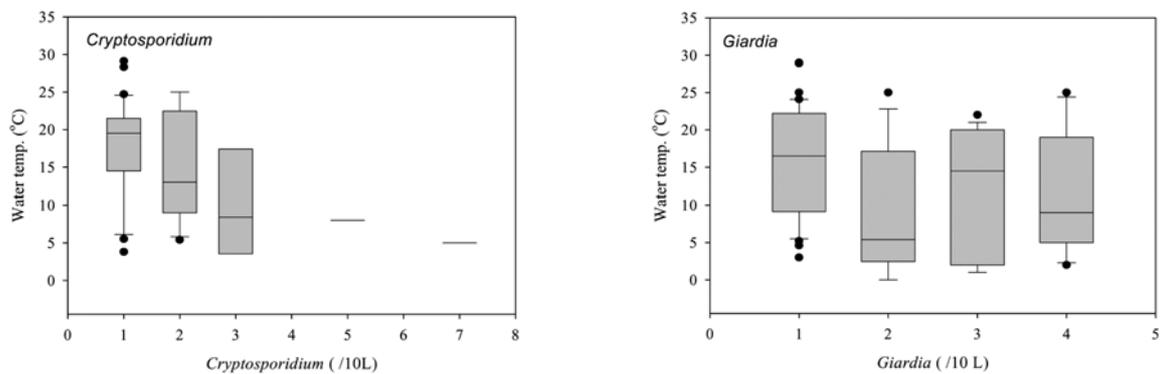
**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

Table 5. Correlation analysis between *Giardia* and water quality parameters

		<i>Giardia</i>	Total coliforms	Fecal coliforms	Turbidity	Water temp.	pH
<i>Giardia</i>	r	1.000	.259**	.270**	.015	-.080*	.098**
	p-value	.	.000	.000	.674	.027	.006
	n	776	742	720	774	769	774
Total coliforms	r		1.000	.785**	.222**	.105**	-.075*
	p-value		.	.000	.000	.004	.041
	n		742	709	742	737	742
Fecal coliforms	r			1.000	.196**	.106**	-.091*
	p-value			.	.000	.005	.015
	n			720	720	715	720
Turbidity	r				1.000	.086*	-.022
	p-value				.	.017	.547
	n				774	769	774
Water temp.	r					1.000	-.185**
	p-value					.	.000
	n					769	769
pH	r						1.000
	p-value						.
	n						774

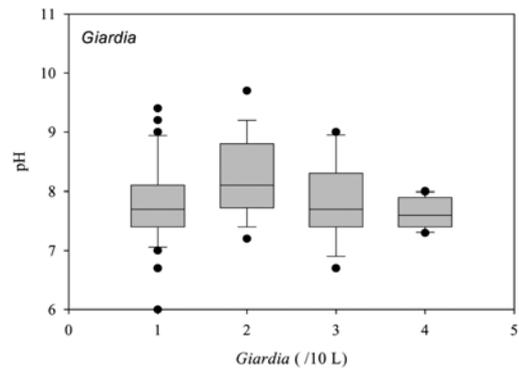
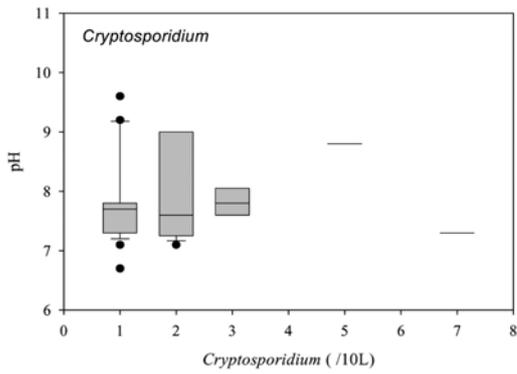
*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)

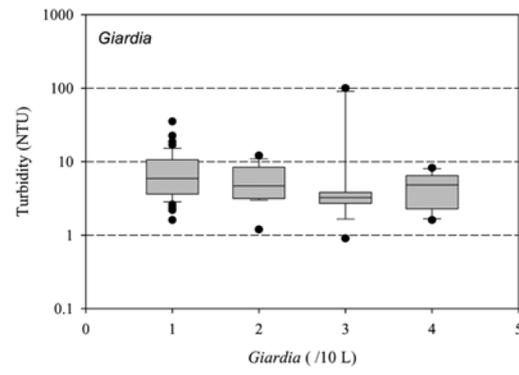
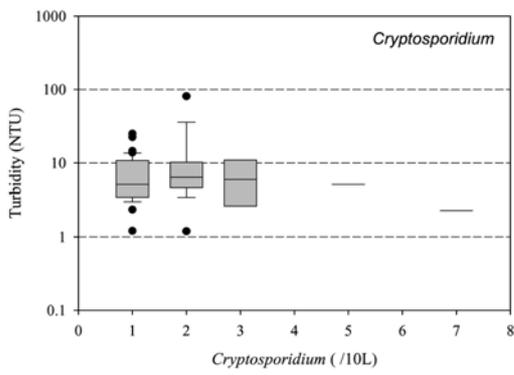


(a) Distribution of water temperature

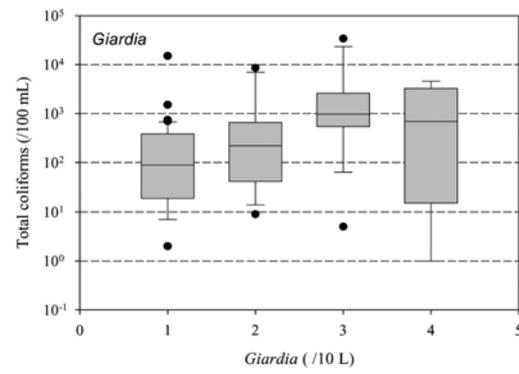
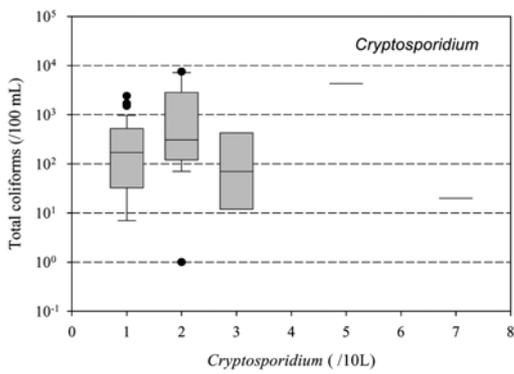
Fig. 2. Distribution of water temperature, pH, turbidity, total coliforms and fecal coliforms according to detection level of *Cryptosporidium* and *Giardia*.



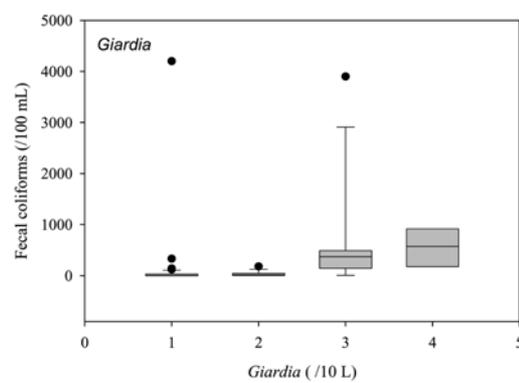
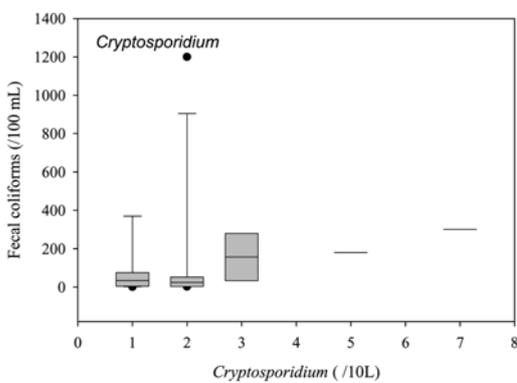
(b) Distribution of pH



(c) Distribution of turbidity



(d) Distribution of total coliforms



(e) Distribution of fecal coliforms

Fig. 2. Distribution of water temperature, pH, turbidity, total coliforms and fecal coliforms according to detection level of *Cryptosporidium* and *Giardia* (continued).

4. 결론

국내 처리용량이 5만톤/일 이상의 97개 정수장 상수원수를 대상으로 2004년 4/4분기부터 2007년 4/4분기까지, 정수장별로 분기별 1회씩 2년간 총 8회간 크립토스포리디움 및 지아디아의 검출현황조사와 이들 병원성 원생동물과 상관관계를 위해 탁도, pH, 수온, 총대장균군 및 분원성대장균군 조사를 실시한 결과, 총 776건의 시료 중 크립토스포리디움은 54개 시료에서 검출되었고(검출률 7.0%), 지아디아는 72개 시료에서 검출되었다(검출률 9.3%). 전체 시료 776건 중 크립토스포리디움의 평균 검출 개체수는 0.11 개체/10 L를 나타내었으며, 지아디아의 평균 검출 개체수는 0.16 개체/10 L를 나타내었다. 이 결과를 조사방법이 유사했던 미국의 ICRSS의 조사결과와 비교하여 볼 때, 낮은 검출 개체수를 나타내었다. 이는 소 등 가축의 사육을 미국에서는 방목의 형태로 사육하기 때문에 강우의 영향 등으로 오염원이 그대로 상수원수에 노출되고, 국내의 경우에는 대부분 축사에서 사육되어 축산폐수는 축산폐수처리장으로 유입되는 등 점오염원의 형태로 처리되는 차이에 기인한 것으로 판단된다.

계절별 원생동물 검출현황을 보면, 본 조사에 있어 크립토스포리디움은 봄(0.17 개체/10 L)에, 지아디아는 겨울(0.26 개체/10 L)에 상대적으로 높게 나타났으나 계절간 뚜렷한 특징을 나타내지는 않았다.

전체 조사시료 776건을 대상으로 크립토스포리디움 및 지아디아와 수온, pH, 탁도, 총대장균군 및 분원성대장균군 등 수질인자와의 상관성을 검토한 결과, 뚜렷한 상관성이 없는 것으로 나타났다. 또한, 원생동물이 검출된 시료만을 대상으로 원생동물 개체수별 수온, 탁도, 총대장균군 및 분원성대장균군 개체수 범위를 조사한 결과, 이 경우에 있어서도 마찬가지로 뚜렷한 상관성을 나타내지는 않았다.

참고문헌

김혜선, 윤제용, 염철민(2000). 국내 상수원수 및 하수에서 *Cryptosporidium*과 *Giardia* 포낭 검출. *수질보전 한국물환경학회지*, **16**(5), pp. 585-594.

박상정, 정향희(2008). Nested PCR-RFLP 및 DNA Sequencing을 이용한 환경시료에서의 크립토스포리디움 동정. *수질보전 한국물환경학회지*, **24**(6), pp. 817-822.

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

채종일, 신손문, 윤종구, 유재란, 이순형(1990). 면역억제에 의한 마우스의 *Cryptosporidium* 발현실험. *기생충학잡지*, **28**(1), pp. 31-37.

환경부(2002). 정수처리에 관한 기준.

Chai, J. Y., Lee, S. H., and Guk, S. M. (1996). An epidemiological survey of *Cryptosporidium parvum* infection in randomly selected inhabitants of Seoul and Chollanam-do. *Korean J Parasitol.*, **34**, pp. 113-119.

Jose Antonio, C. H., Ignacio, G. P., Andre, A., Marta, G. W., Jose, MCDC., and Mercedes, M. (2009). Detection of *Cryptosporidium* spp. and *Giardia duodenalis* in surface water : A Health risk for humans and animals. *Water Research*, **43**, pp. 4133-4142.

Kang, Y. K., Lee, H. K., Kim, S. W., and Choi, J. G. (1995). Cryptosporidiosis in a leukemia child with severe diarrhea. *Seoul J. Med.*, **36**(1), pp. 29-34.

MacKenzie, W. R., Hoxie, N. J., Proctor, M. E., Gradus, M. S., Blair, K. A., Peterson, D. E., Kazmierczak, J. J., Addiss, D. G., Fox, K. R., and Rose, J. B. (1994). A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply. *N Engl J Med.*, **331**(3), pp. 161-167.

Seo, M., Huh, S., Chai, J. Y., and Yu, J. R. (2001). An epidemiological survey on *Cryptosporidium parvum* infection of inhabitants in Chorwon-gun, Kangwon-do. *Korean J Parasitol. Jun.*, **39**(2), pp. 201-203.

USEPA (2005). Occurrence and exposure assessment for the Final LT2ESWTR. EPA 815-R-06-002.

Yu, J. R., Lee, J. K., Seo, M., Kim, S. I., Sohn, W. M., Huh, S., Choi, H. Y., and Kim, T. S. (2004). Prevalence of cryptosporidiosis among the villagers and domestic animals in several rural areas of Korea. *Korean J Parasitol.*, **42**, pp. 1-6.