

## 정수장 원생동물 분석방법의 국내 실험실간 교차시험 연구

정현미<sup>†</sup> · 박상정 · 김대균 · 박상희 · 김이호<sup>\*</sup> · 이상호<sup>\*</sup> · 조주래<sup>\*\*</sup> · 이경희<sup>\*\*</sup> ·  
박종근<sup>\*\*</sup> · 이목영<sup>\*\*\*</sup> · 변승현<sup>\*\*\*</sup> · 조은주<sup>\*\*\*</sup> · 임연택

국립환경과학원

<sup>\*</sup>한국건설기술연구원

<sup>\*\*</sup>한국수자원공사 국제수돗물검사센터

<sup>\*\*\*</sup>서울시 상수도연구소

## Interlaboratory Study for *Cryptosporidium* and *Giardia* Test Methods in Water

Hyenmi Chung<sup>†</sup> · Sangjung Park · Daekyun Kim · Sanghee Park · Recho Kim<sup>\*</sup> · Sangho Lee<sup>\*</sup> · Jooraee Cho<sup>\*\*</sup> ·  
Kyeonghee Lee<sup>\*\*</sup> · Jonggeun Park<sup>\*\*</sup> · Mokyoung Lee<sup>\*\*\*</sup> · Seunghoon Byun<sup>\*\*\*</sup> · Eunju Cho<sup>\*\*\*</sup> · Yeontaek Rhim

National Institute of Environmental Research

<sup>\*</sup>Korea Institute of Construction Technology

<sup>\*\*</sup>Korea Water Resources Corporation

<sup>\*\*\*</sup>Seoul Metropolitan government Waterworks Research Institute

(Received 2 November 2005, Accepted 29 December 2005)

### Abstract

This interlaboratory study was designed to evaluate protozoan test methods in water and to predict the major causes of deviation of the methods. Each of four laboratories with previous experience of protozoa analysis in water participated, and met the initial performance criteria of EPA 1623 method provided. The protozoan analysis procedure consists of filtrations, concentration, immunomagnetic separation, dyeing (staining) and counting with observation. We tested three different filtration equipments: capsule filter for 10 L of surface water, and high volume (HV) capsule filter and membrane filter for 100 L of finished water. When the recovery of each step of the procedure was evaluated with EasySeed, the commercial stock of each 100 *Cryptosporidium* and *Giardia*, immunomagnetic separation and filtration step were the most crucial steps affecting the stability of the recovery, especially for *Cryptosporidium*. There was no significant difference of recovery among the filtration methods. Recovery of protozoa from source water were evaluated with spiked EasySeed as matrix tests. The recoveries of *Giardia* increased significantly in the matrix tests compared those in the deionized water. We also applied red stained mixture stocks of *Cryptosporidium* and *Giardia* called ColorSeed as internal standards of water sample tests. The recoveries of both EasySeed and ColorSeed in samples tested were within the range of the criteria, however, the *Giardia* recoveries using ColorSeed decreased significantly. Further optimization study with ColorSeed will be necessary, considering the convenience of using the internal standard without additional sample analysis. The significant factors of the recovery variation were identified as the differences of laboratories as well as water quality and type of the stock for spiking. The results of this study emphasize the importance of the quality assurance program for protozoan analysis lab in water.

**keywords** : *Cryptosporidium*, *Giardia*, Interlaboratory test, Quality assurance, Recovery

## 1. 서론

정수처리의 기원은 장티푸스 콜레라 등 세균에 의한 수인성 전염병의 방지에서부터 시작되었고 관리기술과 위생수준의 향상 등으로 인하여 공공급수를 통한 수인성 질병은 크게 감소하였다. 그러나 예외적인 경우이긴 하지만 공공급수를 통한 발병이 아직도 보고되고 있다(WHO, 2004). 특히 1980년대 말부터 지아디아와 크립토스포리디움 같은

원생동물에 의한 발병사례들이 영국, 미국, 일본 등 주요 선진국에서 보고되었는데, 이는 지아디아와 크립토스포리디움의 염소소독에 저항성이 큰 포낭과 난포낭을 형성하는 특성에 기인한 바 크다.

국내에서는 2001년 정수장에서 바이러스 검출을 계기로 정수처리에 상대적으로 내성이 강한 바이러스와 원생동물을 목표로 하는 “미생물 처리를 위한 정수처리기준”이 마련되어(환경부, 2002) 바이러스 기준은 2002년부터 지아디아 기준은 2004년부터 적용되었다. 한편, 안전한 물을 생산하기 위한 정수처리의 강도는 원수에서의 원생동물의 분포수준에 따라 결정되므로, 국내 상수원수에서의 원생동물 모

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
hyenmic05@hotmail.com

니터링을 일일 생산능력 10만톤 이상의 정수장에서 수행하도록 계획되었다.

물 시료에서 원생동물 분석은 환경시료 내 낮은 원생동물 농도와 방해물질의 존재로 인하여 여러 단계의 농축 정제과정을 필요로 한다. 따라서 많은 노력과 비용이 소요되나 현재 가능한 기술로 충분히 만족할 만큼의 정밀도를 제공하지 못하고 있다(Simmon et al., 2001; connell et al., 2001, 2002; Feng et al., 2003).

본 연구는 국내 원생동물 시험법(안)을 마련함에 있어, 발생 할 수 있는 회수율의 편차를 예측하고 정량화함으로써 분석 결과에 나타날 수 있는 문제점을 사전에 확인하고 보완하기 위하여 국내 복수의 실험실에 의한 교차 실험의 방식으로 기획되었다. 이를 위하여 분석방법의 단계별 정확도와 재현성을 분석함으로써 시험시 주의점, 정도관리시 시료의 매트릭(matrix)나 접종액의 영향 등을 조사하고, 실험자 혹은 실험실 간 나타날 수 있는 편차를 통계학적 방법으로 예측하고자 하였다.

## 2. 연구 방법

### 2.1. 대상 실험실

국내에서 원생동물 분석 경험이 있는 4개 실험실(국립환경연구원, 한국건설기술연구원, 서울시상수도연구소, 한국수자원공사 수자원연구원의 해당 실험실, 이후 상기 순서와 무관하게 A, B, C, D lab으로 표기)에서 교차실험을 수행하였다.

### 2.2. 원생동물 분석방법

원생동물 분석은 정수처리에 관한 기준에서 명시하는 원생동물 표준시험방법(안)에 준하여 수행하였다(EPA, 1999; 한국건설기술연구원 등, 2002). 원생동물의 시험에 사용된 시료량은 회수율 시험과 현장시료의 경우 모두, 정제수와 원수는 10 L, 정수는 100 L이었다. 정제수 실험과 정수장 시료 시험과 동시에 공시험(원생동물 전 과정을 접종 없이 수행)을 하였고 염색 관찰시 양성 대조군을 사용하였다.

### 2.3. 정제수 및 현장 시료의 회수율 시험

회수율 실험은 각각 4개의 정제수에 세포계수기(flow cytometer)로 계수된 지아디아 포낭 100개체와 크립토스포리지움 100개체의 혼합접종액 표준품 이지시드(EasySeed, BTF, Australia)를 접종하여 시험방법에 따라 검사한 후 회수율과 정밀도를 계산하였다. 현장시료의 회수율은 현장 시료와 현장시료에 이지시드를 접종한 현장접종시료를 시험방법에 따라 동시에 검사한 후 현장접종시료의 관찰 수에서 현장시료 관찰수를 제한 후 회수율과 정밀도를 계산하였다. 회수율과 정밀도의 계산 방법은 원생동물 표준분석방법을 따랐다.

### 2.4. 시험방법의 단계별 회수율 조사

원생동물 시험방법의 여과추출단계, 농축단계, 분리정제단계, 염색단계의 회수율을 조사하기 위하여, 단계별 회수율을 시험하였다(Fig. 1). 염색단계(D, dyeing)는 한 실험실에서 일정수의 크립토스포리지움 난포낭과 지아디아 포낭을 슬라이드에 고정하여 제공한 시료를 염색 후 계수하였고, 분리정제단계(I, immunomagnetic separation)는 면역자기분리용 키트에 포함된 각각 1 mL의 SL buffer A와 B에 이지시드를 접종하고 정제수로 최종 10 mL이 되도록 맞춘 후 면역자기분리와 염색과정을 거쳐 계수하였다. 농축단계(C, concentration)는 캡슐필터와 멤브레인필터에 대한 농축과정이 상이하므로 그 과정에 따라 캡슐필터는 추출 완충용액 250 mL에, 멤브레인은 해당 추출완충용액 50~100 mL에 이지시드를 각각 접종하고 각각의 농축과정을 거친 후, 분리 염색과정을 거쳐 계수하였다. 여과 추출단계(F, filtration)는 캡슐필터와 HV(high volume) 캡슐필터, 그리고 멤브레인필터에 대하여 각각 정제수 10 L에 이지시드를 접종 후 각 시험과정에 따라 분석하였다. 각 단계의 회수율은 그 단계까지의 회수율을 전 단계까지 회수율을 곱하여 산정하였다.

### 2.5. 상수 원수와 정수 실험

한강 팔당, 금강 대청, 낙동강의 정수장에서 채수한 상수원 원수를 분석하였다. 낙동강 원수의 경우는 증류수로 회

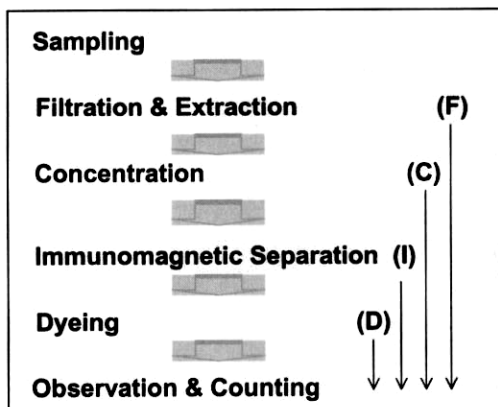
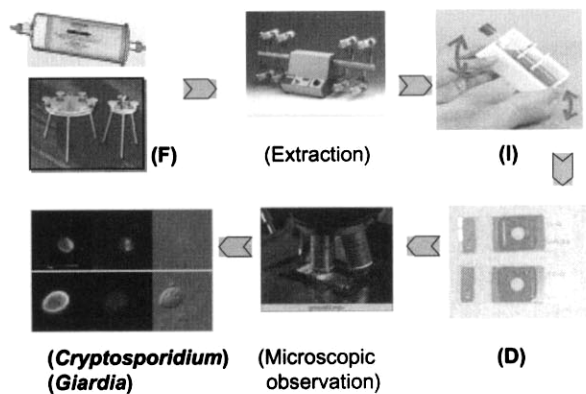


Fig. 1. Procedure of protozoa analysis.



석(1:9)하여 사용하였다. 정수는 대규모인 강북정수장과 소규모인 길상정수장에서 채수하였다. 상수원수와 정수시료에서 원생동물이 검출되지 않을 가능성을 감안하여 internal control로 형광현미경하에서 붉은 색을 띠는 혼합접종액 칼라시드(ColorSeed, BTF, Australia)를 접종(내부접종시험)하여 회수율을 조사하였다. 칼라시드는 형광현미경의 Texas Red 필터를 사용하여 관찰하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 정제수 회수율

정제수에서 4개 기관 전체의 원생동물의 평균 회수율이 지아디아 63.5% 크립토스포리디움이 47.2%를 나타내었다.

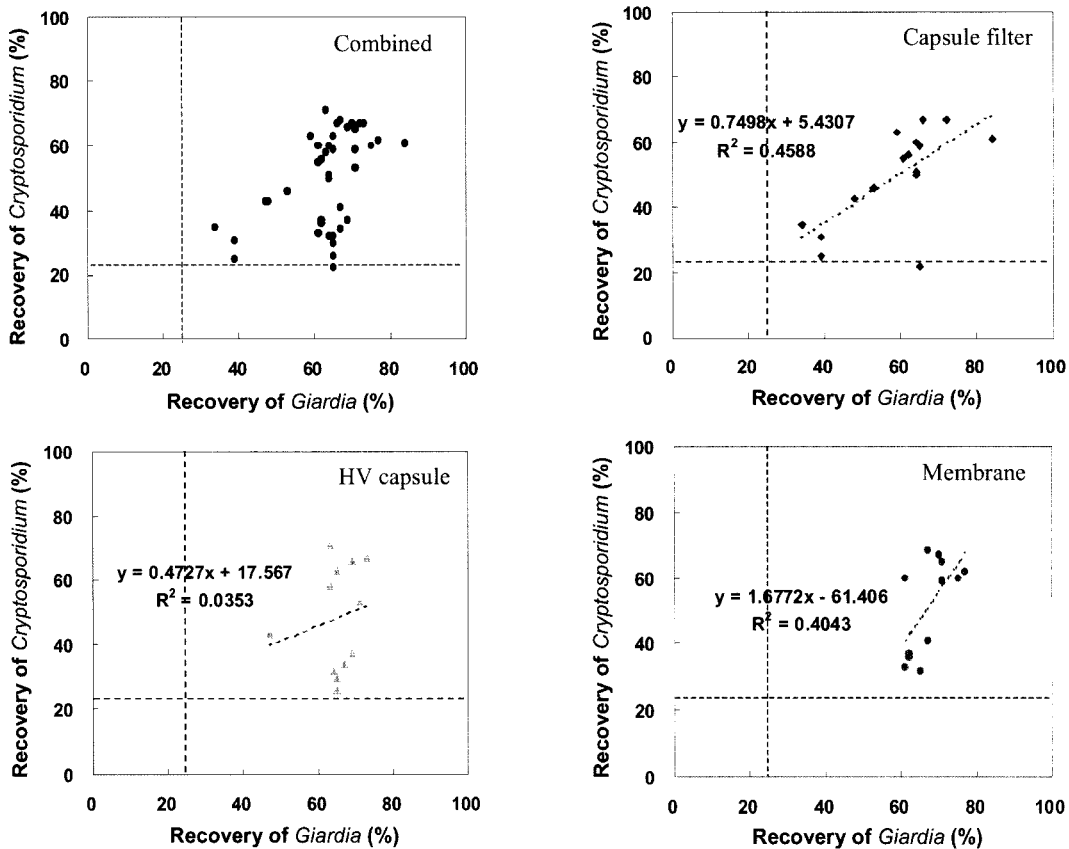
실험실별로는 A가 각각 62.3%과 38.3%. B가 67.3%와 54.4%, C가 67.4%와 61.8%, 그리고 D가 56.9%와 34.3%를 기록하였다. 지아디아에 대한 회수율은 비교적 고른 반면, 크립토스포리디움에 대한 회수율은 실험실간 차이가 있었다(Table 1).

총 40개의 정제수 시료에 대한 접종실험 결과를 보면 (Fig. 2), 한 시료를 제외하고는 점선에 표시한 표준시험방법에서 요구하는 회수율 허용범위인 24~100%를 만족하였다. 대체적으로 지아디아와 크립토스포리디움의 회수율이 동시에 높거나, 지아디아 회수율이 높아도 크립토스포리디움 회수율이 떨어지는 특징을 보인 반면 크립토스포리디움 회수율이 높고 지아디아 회수율이 낮은 경우는 나타나지 않았다.

**Table 1.** The mean recoveries and precisions of performance tests with deionized water (DW) and with source water (SW, matrix tests).

Performance test			Laboratory									
			A		B		C		D		Sum	
			G	C	G	C	G	C	G	C	G	C
All filters	DW (n=12)	Recovery(%)	62.3	38.3	67.3	54.4	67.4	61.8	56.9	34.3	63.5	47.2
		RSD	7.8	24.3	7.7	25.3	13.1	12.5	32.6	25.8	15.3	22.0
Capsule filter	DW (n=4)	Recovery(%)	59.3	49.8	64.3	51.3	66.8	62.5	41.3	34.3	57.9	49.4
		RSD	12.9	10.0	2.7	39.1	9.0	5.5	19.8	25.8	20.4	29.4
Capsule filter	SW (n=4)	Recovery(%)	81.5	35.5	55.8	44.5	81.5	50.3	73.8	35.3	73.1	41.4
		RSD	5.1	37.5	20.6	19.1	5.1	12.5	13.4	13.6	17.9	24.8

G = Giardia, C = Cryptosporidium, RSD = relative standard deviation, \*n = 8, \*\*n = 4



**Fig. 2.** Recovery of Protozoan (oo)cysts from spiked deionized water. The dotted lines are the acceptance criteria of the mean recovery.

다른 여과기구인 캡슐필터, HV캡슐필터, 멤브레인필터 사용시 회수율로 구분하여 보았을 때(Fig. 2), 캡슐필터는 지아디아와 크립토스포리디움의 회수율이 대체로 비례하여 지아디아의 회수율이 높을 때 크립토스포리디움의 회수율도 높은 경향을 보였고, 회수율의 변이가 비슷하였다. HV 캡슐필터와 멤브레인은 크립토스포리디움에 대해서는 회수율의 편차가 캡슐필터와 유사한 반면, 지아디아에 대한 회수율은 더 우수하고 변이가 적게 나타나는 경향을 보였다.

3.2. 분석 단계별 회수율 평가

원생동물 분석과정에서 각 단계별로 나타나는 회수율의 변화를 살펴보기 위하여 개수를 알고 있는 원생동물 표준 시료 이지시드를 정제수에 주입한 후 단계별로 분석을 수행하였다. 통계적인 해석을 위하여 실험은 각 누적 단계에 대하여 각 기관에서 4~5번 반복적으로 수행하였고 또한 원생동물 분석과정에서 여과방법이 전체 회수율에 미치는 영향을 평가하기 위하여 세 가지 서로 다른 여과방법이 적용되었다.

각 단계별 회수율을 Fig. 3에 각 기관의 평균회수율과 전체 평균회수율로 나타내었다. 염색단계에서의 회수율은 지

아디아 97%, 크립토스포리디움 105%였으나 정밀도(상대표준편차)가 각각 10.3과 15.7으로서 기관별 변이가 매우 크게 나타났다. 그러나 이는 세포계수기(cytometry)로 정량하여 준비되지 않은 대조군을 사용하여 대조군 자체의 변이에 기인한 바가 크다. 단계별로 회수율의 정도를 보면, 염색과 농축 과정에서는 크립토스포리디움과 지아디아 모두 회수율의 저하가 거의 나타나지 않았다. 면역자기체를 이용한 정제과정과 여과기를 이용한 여과단계에서는 지아디아의 경우, 각각 평균 81%, 83~98%의 회수율 범위를 유지하여 정제과정과 여과과정에서의 회수율이 비교적 양호하였다. 그러나 크립토스포리디움은 면역자기체를 이용한 분리정제과정과 여과단계에서 각각 평균 회수율이 75%와 61~65%으로 크게 회수율의 저하가 나타났고 이때 기관별 회수율의 편차도 다른 단계보다 크게 나타났다.

분석과정의 단계별 누적회수율을 4개 기관의 전체 자료에 대하여 평균과 정밀도로 나타내었다(Fig. 4). 지아디아의 경우 각 과정을 거치면서 조금씩 회수율이 저하되어 최종 회수율은 65%대로 나타났다. 세 가지 다른 여과과정 중 멤브레인 필터를 사용한 여과와 농축 단계회수율이 HV를 포함한 캡슐필터 사용 시 보다 약간 우수하게 나타났다. 크

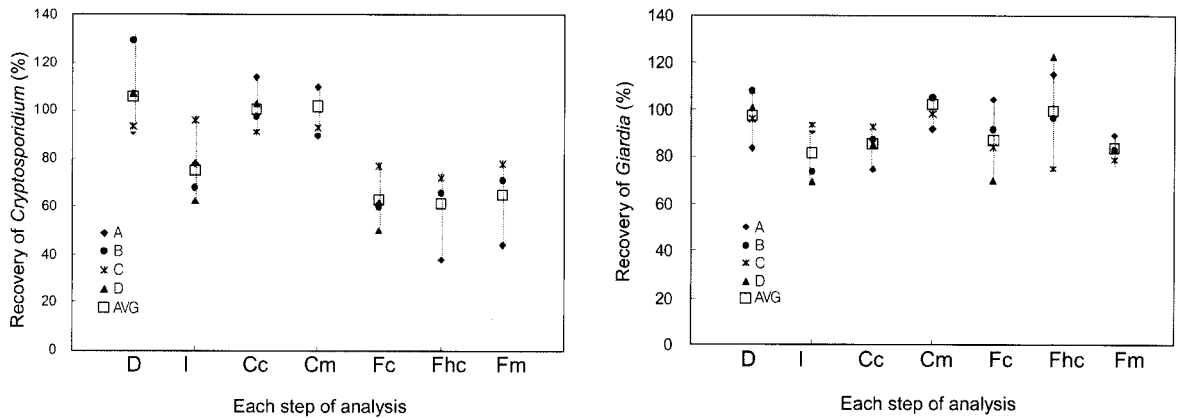


Fig. 3. The recovery of protozoa at the each step of analysis (D=dyeing, I=immuno magnetic separation, Cc=concentration after Fc and Fhc, Cm=concentration after Fm, Fc=filtration using (high volume) capsule filter, Fm=filtration using membrane filter).

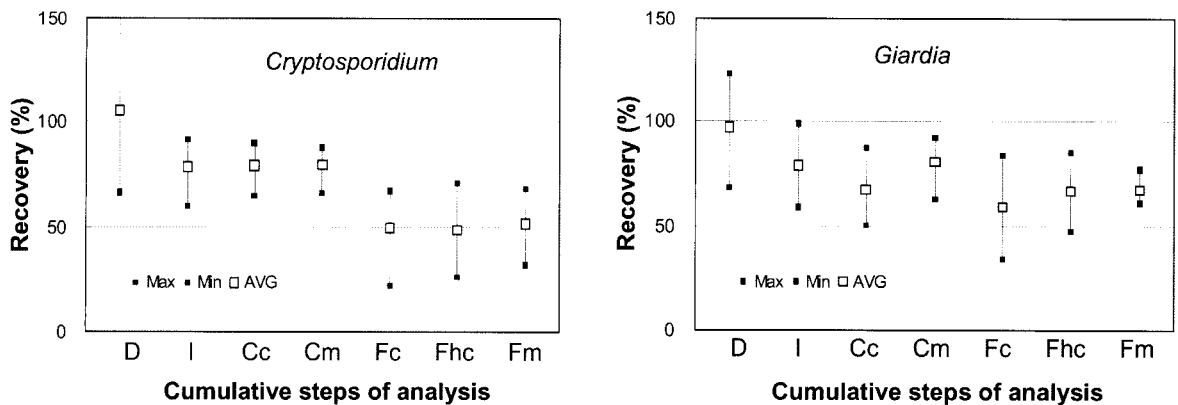


Fig. 4. The recoveries of protozoa at each cumulative step of analysis (D=dyeing, I=Immuno magnetic separation, Cc=Concentration after Fc and Fhc, Cm=Concentration after Fm, Fc= Filtration using (high volume) capsule filter, Fm= Filtration using membrane filter).

립토스포리디움의 경우는 번역자기체를 이용한 분리정제과정과 여과과정의 두 단계에서 계단식으로 저하되어 지아디아보다 조금 낮은 50%대의 회수율을 나타내었고, 세 가지 다른 여과과정을 이용한 전 과정 간에 회수율과 표준편차의 차이가 크기 없음을 확인할 수 있었다.

**3.3. 정제수와 원수를 이용한 매질 실험의 비교**

현장집중시료의 회수율은 팔당 원수를 채취하여 실험실당 4개의 동일 시료에 대하여 조사하였고 캡슐필터를 사용하였다. 채수당시 시료의 pH는 7.3, 수온은 22°C, 탁도는 15 NTU였다. 이지시드의 회수율은 현장집중시료의 허용범위인 크립토스포리디움의 13~111%, 지아디아의 15~118%를 만족하였고, 평균 회수율은 지아디아, 크립토스포리디움이 각각 73.1%와 41.4%로서 정제수 회수율과 유사한 수준이었다(Table 1). 그러나 캡슐필터를 사용한 정제수의 회수율 시험결과(지아디아 57.9%, 크립토스포리디움 49.4%)와 비교하면 지아디아의 경우는 정제수의 회수율보다 오히려 더 우수하게 나타나, 환경시료 내 물질이 지아디아 회수율의 상승에 기여하는 것으로 나타났다. 반면 크립토스포리디움은 높은 회수율이 하락한 반면 회수율의 차이가 줄어들어 평균 회수율이 약간 하락하였다. 시료가 정제수인지 현장시료인지에 따라서 결과의 차이가 있는지를 알아보기 위해 등분산 가정하에 t-검정을 한 결과, 95%의 신뢰구간에 대하여 지아디아는 유의하게 차이가 있었으나 (p=0.0016), 크립토스포리디움은 유의한 차이가 없는 것으로 나타났다(p=0.08).

**3.4. 상수원수 및 정수 실험**

원생동물 시험법을 이용하여 상수원수 및 정수시료에서 원생동물을 분석하였다. 이때 각 시료의 실험마다 회수율을 알아보기 위하여 내부 표준품(internal standard)으로 칼라시드 100개체를 접종하였다. 실험의 대상이 되는 원수는 팔당, 금강, 낙동강수계의 물을 사용하였고, 이때 낙동강수계의 물은 탁도가 과다하여 10배 희석하여 사용하였다. 정수의 경우는 대규모 정수장과 소규모정수장을 각각 1곳씩 선정하여 2점의 시료를 HV캡슐필터와 멤브레인필터로 채취하였다.

분석한 결과 원수와 정수시료에서는 원생동물을 관찰하지 못하였다. 이때 칼라시드를 이용한 수계별, 정수장별 원생동물의 평균 회수율과 정밀도를 Fig. 5에 나타내었다. 원수수계별로 보면, 지아디아 회수율의 평균값은 수계와 상관없이 거의 동일하였고, 크립토스포리디움은 약간의 차이가 있었으나 그 차이가 10%이내였다. t-검정으로 통계처리를 해본 결과 95% 신뢰구간에서 지아디아와 크립토스포리디움 모두 수계별로 유의한 차이를 보이지 않았다(p value가 각각 0.997, 0.37).

정수에서는 정수장별로 회수율의 차이가 나타났는데, 이는 총 7개 시료를 분석한 소규모 정수장 시료 분석 시에 한 실험실의 지아디아 회수율이 특이하게 5%, 7%를 기록하였기 때문으로서, 분석 과정상 혹은 칼라시드의 판정상 문제점이 있었던 것으로 사료되었다. 그럼에도 정수장별 차이에 대한 t-검정 결과 지아디아, 크립토스포리디움 모두 95%신뢰구간에서 유의한 차이가 없는 것으로 나타났고, 사용한 여과방식(HV캡슐 vs 멤브레인)에 의한 차이도 유의하지 않는 것으로 나타났다.

**3.5. 환경시료 분석 시 매질의 영향 파악을 위한 접종 시험방법의 비교 평가**

현장시료의 매질이 회수율에 영향을 줄 수 있기 때문에 이에 대한 정도관리가 필요하다. 가장 바람직한 것은 현장시료마다 매질 시험을 하는 것이겠지만 분석의 부하와 비용이 2배로 상승하게 된다. 따라서, 현장시료의 분석 질 관리를 위한 정도관리로 미국 EPA 1623 방법이나 표준분석 방법에서는 최초 분석시에 현장집중시료를 실시하고(초기 수행평가), 일정수(20개 시료)의 현장시료를 분석할 때마다 집중시험(중도수행평가)을 하도록 하고 있다. 방법은 동일한 시료를 복수로 준비하여 한 시료는 현장시료 분석용으로, 다른 시료는 접종하여 회수율을 평가하는데 사용하므로 두 배의 분석 부하와 추가 비용이 소요되게 된다.

그런데 내부접종표준품(internal standard)을 사용한다면, 환경시료 분석과 동시에 회수율도 평가할 수 있기 때문에 내부접종용 표준품으로 개발된 칼라시드를 같이 사용하여 평가하여 보았다. 원생동물은 형광현미경하에서 FITC의 녹색형광과 DAPI의 푸른색형광을 사용하는데, 칼라시드는 붉

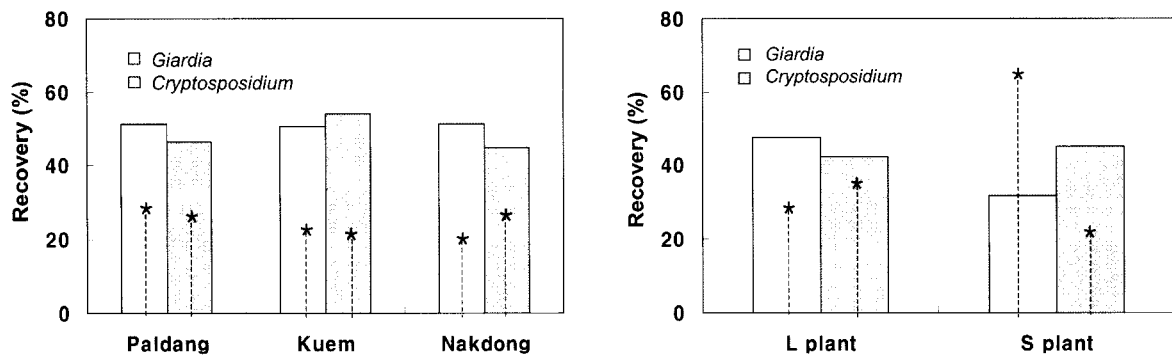


Fig. 5. The mean recovery and precision of the internal standards in the different source waters and treatment plants (precision is expressed as star bars).

은색으로 염색되어 있어서 원생동물과 구분이 되기 때문에 시료에 집중하여 원생동물계수시에 칼라시드를 계수하여 회수율을 평가할 수 있다.

본 연구에서는 내부접종시험(internatl standard test)으로 팔당, 금강, 낙동강의 상수원수를 사용하여 총 21개의 시료를 분석하여 Fig. 6에 나타내었다. 모든 시료의 회수율이 현장시료 허용 수준 안에 있었으나 평균회수율을 비교하여 보면, 지아디아의 회수율은 51.0%(vs 73.1%), 크립토스포리디움의 회수율은 48.3%(vs 41.4%)로 이지시드를 사용한 현장접종시험 결과와 비교하여 볼 때, 내부접종시험의 지아디아 회수율이 뚜렷이 감소하였다. 두 시료간의 회수율의 차이가 있는지를 t-검정으로 평가하여 보았을 때, 지아디아의 회수율은 절대적인 차이를 보였고( $p=0.000$ ), 반면, 크립토스포리디움의 경우는 유의한 차이를 보이지 않았다( $p=0.095$ ).

환경시료의 매트릭스간 회수율의 차이는 상기 언급한 바와 같이 없었고, 오히려 matrix test에서 사용한 팔당 시료보다 금강, 낙동강 시료의 회수율이 약간 높은 경향을 보였으므로 환경시료의 차이에 의한 가능성은 크지 않은 것으로 사료되었다.

내부표준시료의 경우는 칼라시드의 교차실험에 참여한 실험실 모두 칼라시드를 사용한 경험이 없는 상태에서 texas red filter 하에 조류와의 구분이 어려운 난점이 발생하여 실험실간 판단에 의한 편차가 발생하였을 것으로 사료 된다. 이는 칼라시드를 고려하지 않는 표준분석방법의 염색으로 인하여 붉은 색의 자연형광을 띠는 조류와의 구분이 어려워 졌을 수도 있고, 대조군 사진으로 미루어 칼라시드의 상태가 건강하지 않았을 것으로도 추정된다. 그러나 칼라시드를 사용한 내부접종실험결과가 현장접종시료의 허용치 안에 든 점과 정도관리의 부담을 시간과 비용면에서 절감할 수 있는 점을 감안할 때, 칼라시드 사용 시 염색과 구분 방법에 대한 심도 있는 추가 연구가 필요할 것이다.

이지시드와 칼라시드를 이용한 현장원수시료(매질)의 회수율 자료로 4개 실험실간 결과를 비교하여 보았을 때, 일

원배치법에 의한 분산분석(ANOVA) 결과 지아디아와 크립토스포리디움 모두 실험실간의 차이가 유의하게 나타나 ( $p=0.003$ ,  $p=0.027$ ), 간섭물질이 있는 환경시료 분석 시 실험실 간에 회수율에 차이가 있을 수 있음을 알 수 있었다. 실험실간 회수율의 차이는 수행평가 허용 기준 범위 내에 있었다. 일반적으로 알려진 환경시료 분석 편차의 가장 큰 요인 중의 하나가 시설, 장비와 운영질의 상이성, 각 분석 단계마다 발생할 수 있는 시험기구와 실험방식의 차이, 분석자간의 편차 등으로 인하여 발생하는 실험실간의 편차이다. 이러한 이유로 인하여 표준분석이나 분석신기술 도입 시, 실험실간 편차를 최소화하기 위하여 시험방법의 수행평가, 허용치 평가 등에 실험실간 평가를 반드시 거치도록 하고 있으며, 국내 도입한 정수장원생동물 표준분석방법(환경부, 2004)의 정도관리기준은 실험실간 결과를 바탕으로 설정된 미환경청 표준분석방법의 수행평가 허용기준에 근거 하여 채택하였다.

#### 4. 결론

원생동물 분석 방법은 염색단계, 분리정제단계, 농축단계, 여과단계로 구분할 수 있는데, 분석단계별 회수율에 지아디아와 크립토스포리디움이 차이를 보였다. 지아디아는 단계별 편차가 크지 않고 일정 수준으로 회수율의 편차를 나타낸 반면, 크립토스포리디움은 농축단계에서는 회수율이 매우 좋았으나 분리정제단계와 여과단계에서의 회수율이 크게 감소하였다. 따라서 시료의 여과과정과 면역자기 분리과정이 분석효율을 결정하는 중요한 과정으로 나타났다. 세가지 여과방법(캡슐 필터, HV캡슐필터, 펌프라인필터)간의 차이는 나타나지 않았다.

현장 시료를 검사하였을 경우의 지아디아 회수율은 정제수와 비교하여 상승하였다. 크립토스포리디움은 평균값이 소폭 감소하는 경향을 보였으나 유의한 차이를 나타내지 않았다. 원수와 정수의 경우 시험수의 수가 적은 제한점이 있으나, 시료채취장소(원수는 수계별, 정수는 정수장별)에

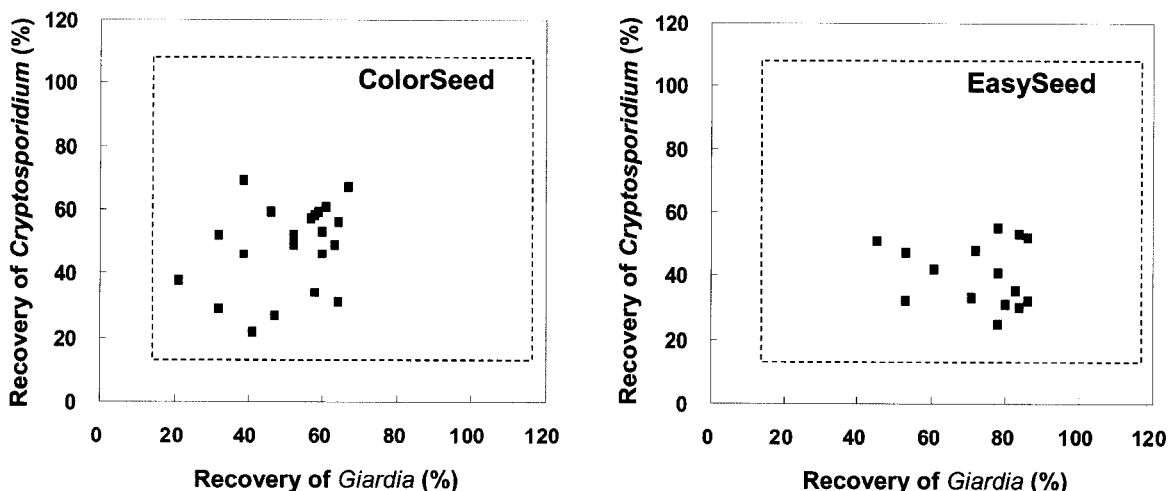


Fig. 6. The recoveries of the matrix test using ColorSeed and those of internal standard test using EasySeed.

의한 영향은 나타나지 않았다.

환경시료 분석 시 매질의 영향 파악을 위한 접종 시험방법을 비교하였다. 원생동물과 동일한 형광을 내는 이지시드 표준품을 이용한 현장접종시험과, 원생동물과 다른 붉은 형광을 내는 칼라시드를 이용한 내부접종시험을 비교하여 보았을 때, 두 방법 모두 허용 회수율 범위를 만족하였으나, 칼라시드를 사용한 경우에 이지시드 보다 지아디아의 회수율이 감소되었다. 유용한 사용 가능성이 있는 칼라시드의 적용성에 대한 추후 연구가 필요하다.

환경원수시료 분석 결과를 실험실 간에 분산 분석한 결과 통계적으로 유의한 차이를 나타내었고, 평균 회수율은 최대 25%(지아디아)와 13%(크립토포리디움)의 차이를 보였다. 본 교차시험 연구에 참여한 실험실은 원생동물 분석법에 경험이 있는 실험실로서 정제수 회수율과 현장접종시험에서 수행평가의 허용치를 만족하였다.

결론적으로 원생동물 분석 결과에 영향을 미치는 주요한 요인은 실험실, 환경시료, 그리고 접종액의 형태였고, 예상과 달리 크립토포리디움 보다는 크기가 커서 여과와 관찰이 용이한 지아디아 결과에 더 큰 영향을 주었다. 분석과정에서는 여과과정과 분리정제과정이 분석 시에 주의를 기울여야 하는 단계로 나타났다. 정도관리를 용이하게 할 수 있는 칼라시드를 사용한 내부접종평가 방법을 심도 있게 검토할 필요가 있다.

## 참고문헌

한국건설기술연구원 등, 정수처리기술기준 시행을 위한 원

- 생동물 분석방법 연구, 중간보고서, 국립환경연구원 (2003).
- 환경부, 정수처리에 관한 기준 개정, 별표 7 표준시험방법, II, 원생동물 표준분석방법, 환경부 고시 제 2004-89호 (2004).
- 환경부, 정수처리에 관한 기준, 환경부고시 제 2002-106 (2002).
- Connell, K., Clancy, J., Regli, S., Messner, M., Rodgers, C., Fricker, C. and Telliard, W. A., Discussion of : "Evaluation of USEPA Method 1622 for detection of Cryptosporidium Oocysts in Stream Water," *Journal of AWWA*, **93**(3), pp. 106-107 (2001).
- Connell, K., Feige, M. A., Clancy, J., Miller, K. and Pulz, J., Conducting and Evaluating Modified Method Acceptability Studies for USEPA Methods 1622 and 1623, *Proceeding of American Water Works Association- Water Quality Technology Congerence* (2002).
- Feng, Y. Y., Ong, S. L., Hu, J. Y., Song, L. F., Tan, X. L. and Ng, W. J., Effect of Particles on the Recovery of Cryptosporidium oocysts from Source water Samples of Various Turbidities, *Appl. Environ. Microbiol.*, **69**(4), pp. 1898-1903 (2003).
- Simmons, O., Sobsey, M. D., Schaeffer, F. W., Francy, D. S., Nally, R. A. and Heaney, C. D., Evaluation of USEPA Method 1622 for Detection of Cryptosporidium oocysts in Stream Water, *Journal of AWWA*, **93**(1), pp. 78-87 (2001).
- USEPA, EPA1623: *Cryptosporidium and Giardia in Water by Filtration/ IMS/FA*, EPA-832-R-99-006, Office of Water (1999)
- WHO, Guidelines for Drinking-Water Quality, Volume 1 Recommendations, 3rd edition, World Health Organization, Geneva (2004).