

정수처리 공정에서 *Cryptosporidium* Tracer의 제거효율

이순화 · 김윤희[†]

영남대학교 환경공학과

(2006년 7월 28일 접수, 2006년 12월 18일 채택)

Removal Efficiency of *Cryptosporidium* Tracer in Drinking Water Treatment Process

Shun-Hwa Lee · Yun-Hee Kim[†]

Department of Environmental Engineering, Yeungnam University

ABSTRACT : In this study, removal efficiencies of treatment processes with *C. tracer* which is similar to the characteristics of *Cryptosporidium* were investigated. The highest removal efficiency of *C. tracer* was 97.16% when the input dose of PACI(Poly aluminium chloride, $Al_2O_3(10\%)$) was 10 mg/L. The higher turbidity and SS removal efficiencies were, the more *C. tracer* cohesion efficiency increased. Also when pH of the raw water was high, removal efficiency of *C. tracer* increased. As the correlationship(R^2) between effluent turbidity after coagulation-precipitation and removal efficiency of *C. tracer* was 0.9506, removal efficiency of *Cryptosporidium* could be evaluated by effluent turbidity after coagulation-precipitation. Also the range of *C. tracer* removal efficiency by sand filtration was 94.00~95.83% and the correlationship(R^2) between effluent turbidity after filtration and removal efficiency of *C. tracer* was 0.8704. Therefore, when filtration-effluent turbidity is good under the optimized coagulation condition, removal efficiencies of *Cryptosporidium* by coagulation-precipitation, sand rapid filtration and sand rapid filtration after coagulation-precipitation are estimated as 1.55 log(97.16%), 1.38 log(95.83%) and 2.31 log(99.51%) respectively.

Key Words : *Cryptosporidium*, Tracer, Turbidity, Coagulation, Sedimentation, Filtration

요약 : 정수처리 과정에서 *Cryptosporidium*과 유사한 특성을 가지고 있는 *C. tracer*를 이용하여 공정별 제거효율을 조사하였다. PACI (Poly aluminium chloride, $Al_2O_3(10\%)$) 주입량이 10 mg/L일 때 *C. tracer*는 97.16%로 가장 높은 제거율을 보였으며, 탁도 제거율과 SS 제거율이 높을수록 *C. tracer* 응집 효율이 높았다. 원수의 pH가 높을수록 *C. tracer* 제거율이 증가 하였으며 응집·침전 후의 유출수 탁도와 *C. tracer* 제거율과의 상관성이 $R^2=0.9506$ 로 높게 나타나 응집·침전 후의 유출수 탁도로 *Cryptosporidium* 제거 효율을 평가할 수 있음을 알 수 있었다. 또한 여과 실험에서는 유입 탁도에 따른 *C. tracer* 제거율은 94.00~95.83% 범위였으며 유출수 탁도와 *C. tracer* 제거율과의 상관성은 $R^2=0.8704$ 였다. 최적 응집 조건 하에서 여과수 탁도가 양호할 경우, 예상되는 *Cryptosporidium*의 제거율은 응집·침전의 경우 1.55 log(97.16%), 급속모래여과의 경우 1.38 log(95.83%), 응집·침전+급속모래여과의 경우 2.31 log(99.51%)로 나타났다.

주제어 : 크립토스포리디움, 트레이서, 탁도, 응집, 침전, 여과

1. 서론

전 세계적으로 *Cryptosporidium*에 의한 수돗물의 오염 사례가 큰 문제점으로 인식되고 있다. 1993년 미국 위스콘신주 밀워키시에서는 160만명의 급수인구 중 40여만 명이 감염되어 이로 인한 영향으로 100여명 가량이 사망했고, 1996년 일본 사이타마현, 오키세마치현에서도 수돗물을 통해 주민의 70%인 8천명 이상이 감염되는 등 감염 인구가 수천에서 수십만 명에 달하는 대규모 감염 사고가 발생하였다. 이러한 집단 발병 사례를 보면, *Cryptosporidium*에 오염된 원수가 상수 처리 과정에서 부적절하게 처리되어, 수도관을 통하여 단시간에 광범위한 지역으로 공급되었기 때문이다.¹⁾ 그리고 *Cryptosporidium*은 수중에서는 단단한 세포벽으로 둘러싸여

있어 염소 소독을 해도 잘 제거되지 않는 어려움이 있다. 따라서 상수 처리 과정에서 *Cryptosporidium*의 제거 거동을 파악하여 먹는 물의 안전성을 확보하는 것이 중요한 과제로 되고 있다. USEPA는 1974년에 안전한 먹는물 규정(Safe Drinking Water Act(SDWA))을 확립하여 1986년과 1996년 두 차례 동안 먹는 물 규정을 강화했다. 또한 1989년 Surface Water Treatment Rule(SWTR)을 공표하여 처음으로 상수처리에서 3log의 *Giardia* cysts 제거와 소독을 요구하는 규정을 제정하였다.^{2,3)} 정수장의 상수 처리는 일반적으로 응집·침전, 여과, 소독 공정들로 구성되며, 이 과정들의 배열이나 운영방식들은 원수의 수질을 고려한 각 정수장에 따라 다르며,^{4,5)} 상수원수뿐만 아니라 정수장 처리수에 대해서도 *Cryptosporidium*과 *Giardia*의 검출현황이 여러 연구자에 의해 조사되었다.^{6~8)} 그러나 국내 상수 처리 공정에 의한 *Cryptosporidium*의 현황을 파악할 수 있는 기초 자료가 미비하며, 기존 상수 처리 공정의 대응능력, 요구되는 수준의 소독 효과 등에 대

[†] Corresponding author

E-mail: sewonk27@hanmail.net

Tel: 053-810-2540

Fax: 053-810-4624

한 평가도 미비한 실정이다. 또한 최근 국내 상수원수에서도 *Cryptosporidium*의 검출사례가 꾸준히 보고되면서 정수처리 공정에서 소독공정을 강화하고 있다. 국내의 경우 최근에 소독 관련 법규가 강화되어 2003년부터는 하수도법시행규칙 개정에 따라 하수처리 시설에 소독이 의무화되었고, 2004년 7월부터는 정수처리기준에서 원생동물인 *Giardia*의 제거를 3log로 규제하고 있다. 그러나 국내 대부분의 정수장에서는 소독공정에서 염소를 사용하는데 소독제에 내성을 가지고 있는 *Cryptosporidium*과 같은 미생물 제어에 한계를 가지고 있고, 고농도의 염소소독이 요구되어 실제로 정수처리공정에 적용하기가 어렵다. 따라서 정수처리를 통한 안전한 먹는 물 확보를 위하여 소독기준의 강화와 오존, UV 등과 같은 소독 부산물의 위험이 적은 소독제 연구 및 적용의 필요성이 증가하고 있다.

본 연구에서는 실내 실험을 통해 응집·침전, 급속모래여과 공정에서 *Cryptosporidium*과 유사한 특성을 가지고 있는 *C. tracer*를 이용하여 공정별 제거효율을 조사하였으며, 수돗물에서 *Cryptosporidium* 오염 방지 및 제어 방안 연구의 기초를 마련하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1. *C. tracer*와 대상시료

*Cryptosporidium*은 수 환경 시료에서 매우 낮은 농도로 존재하므로 응집·침전, 급속모래여과 공정에서는 *Cryptosporidium tracer*(일본수도기술연구센터에서 개발)를 이용하여 실험하였다.

*C. tracer*는 실제 *Cryptosporidium parvum* oocyst와 입경, 비중, 제타전위가 유사하며 현미경으로 용이하게 관찰할 수 있는 푸른색의 형광 입자로 되어 있다. Table 1은 *C. tracer*의 특성을 나타낸 것이다. 실험에 사용된 시료수는 상수 원수인 낙동강 강정 지점에서 채수한 후, *C. tracer*를 일정 농도로 첨가한 것을 사용하였다. 또는 경우에 따라 수돗물에 카오린으로 탁도를 임의로 조절하여 *C. tracer*를 주입한 시료수를 대상으로 하였다.

2.2. 실험방법 및 조건

2.2.1. 실험방법

Table 1. Comparison of *C. tracer* and *Cryptosporidium parvum* oocyst

	<i>C. tracer</i>	<i>Cryptosporidium</i> oocyst
Material	Polymethylmethacrylate (PMMA)	
Size	5.0 um	4.0~6.0 um
Specific gravity	1.19 g/cm ³	1.05~1.10 g/cm ³
Zeta potential	-29 mV(pH 6.6)	-25 mV(pH 6.0~6.5)
Concentration of particle	10 ¹¹ counts/L(liquid)	
Color	blue(under UV fluorescent)	

Table 2. Analytical methods of water quality

Items	Method and Apparatus
Water Temperature	Basic Thermometers
pH	pH Meter
DO	Winkler's azide method(DO Meter)
SS	Total filterable residue dried at 110℃
Turbidity	HACH 2100N Turbidimeter

Table 2는 수질항목을 나타낸 것이다. 수질항목의 주요 분석인자로 수온, pH, 공정에 의한 *C. tracer*의 변화, 그리고 입자 제거 지표인 탁도와 SS를 측정하였다. 수온(Temperature)은 휴대용 봉상온도계를 이용하였으며, pH는 pH계(Metrohm 704 pH meter), 탁도(Turbidity)는 탁도계(HACH 2100N Turbidimeter)를 이용하여 NTU(Nephelometric Turbidity Unit) 단위로 측정하는 Nephelometric법을 사용하였으며, SS는 Standard Method에 준하여 분석하였다. 그리고 원수 및 각 공정별 실험에서 실험 전·후의 시료를 일정량 채취해 25 mm Φ인 Polycarbonate 필터로 여과 후 그 필터를 형광현미경을 이용하여 400배율에서 5 um인 형광입자를 계수하여 제거율을 산정하였다.

2.2.2. 실험 조건

(1) 응집·침전 및 급속모래여과

Table 3에서는 응집실험 실험 조건을 나타낸 것이다. 응집실험은 Jar-tester(CHANSHIN C-Jt-1)를 사용하여 실험하였으며, 조작 조건은 급속교반(140~150 rpm)을 3분, 완속교반(25~35 rpm)을 30분, 이 후의 침전시간은 60분으로 하였다. 분석 시료는 1 L 용량의 비이커에 상등수 500 mL씩을 채취하여 실험하였다. 실험에 사용된 응집제는 현재 우리나라 정수장에서 주로 사용되고 있는 고분자 응집제인 폴리염화알루미늄[Poly aluminium chloride, 이하 PACl, Al₂O₃ (10%)]을 사용하였다. Fig. 1은 여과실험 모식도를 나타

Table 3. Experimental conditions of coagulation

Items	Specifications
Coagulant	PACl
Rapid mixing	3 min at 140~150 rpm
Slow mixing	30 min at 25~35 rpm
Sedimentation	1 hr

Table 4. Experimental conditions of filtration

Items	Specifications
Column dimension	Φ 100 mm × L 1,500 mm
Filtration rate	134 m/day
Media	Sand
Effective diameter	0.6 ± 0.05 mm
Uniformity	1.5
Sand depth	750 mm
Gravel depth	300 mm

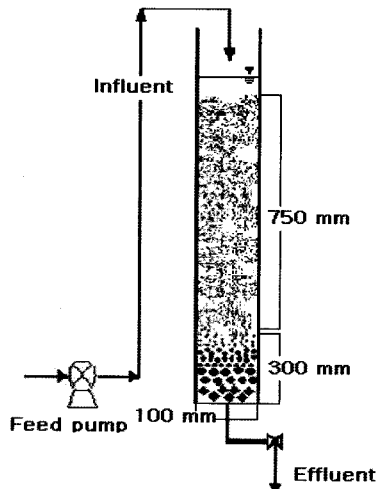


Fig. 1. Schematic diagram of filtration.

넨 것이다. 직경 100 mm×높이 1,500 mm의 column으로 유효지름 0.6±0.05 mm, 균등계수 1.5의 여재로 1,050 mm 충전하여 실험하였다. 이 때 여과속도는 134 m/day였다. 여과 실험에 대한 특성을 Table 4에 나타냈다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 응집 · 침전공정에 의한 C. tracer 제거

3.1.1. PACI 주입량에 따른 제거율

응집제 주입량과 응집 효율 정도에 따른 *Cryptosporidium* 제거율을 알아보기 위해 PACI 주입량에 따른 SS, 탁도, C. tracer 제거율(%)을 Fig. 2에 나타내었다. PACI 주입량이 증가할수록 C. tracer 제거율이 증가하다가 감소하는 경향을 보이며, 탁도와 SS 제거율 또한 비슷한 경향을 나타내었다. 그러나 PACI 주입량이 10 mg/L일 때 C. tracer는 97.16%로 가장 높은 제거율을 보였으며, SS, 탁도 제거율도 각각 97.56%, 95.26%로 높게 나타났다.

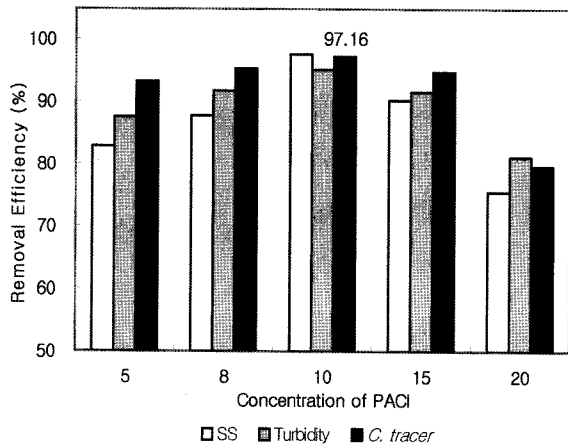


Fig. 2. Removal efficiency of SS, turbidity and C. tracer by concentration of PACI(Raw water: Temp. - 16.5°C, pH - 7.41, SS - 16.4 mg/L, Turbidity - 19.2 NTU).

3.1.2. 유입원수의 pH 변화에 따른 제거율

Fig. 3은 원수의 pH 변동에 따른 *Cryptosporidium* 제거율을 알아보기 위해 유입 원수 pH를 변화하여 실험한 결과이다. pH가 높을수록 C. tracer 제거율이 증가하였으며 동시에 SS, 탁도 제거율도 증가하였다. pH가 5일 때 C. tracer와 탁도, SS 제거율이 각각 96.62%, 70.17%, 72.97% 낮았으나 pH가 9일 때는 C. tracer와 탁도, SS 제거율은 각각 97.34%, 96.69%, 93.24%로 높게 나타났다. 이것은 pH가 높을수록 비중이 작은 C. tracer와 응집제 PACI와의 플러 형성에 유리하게 작용한 것으로 추측된다.

3.1.3. 유출수 탁도 변화에 따른 제거율

Fig. 4는 응집 · 침전 후의 유출수 탁도와 C. tracer 제거율을 나타내었다. 그림으로부터 이들은 높은 상관성($R^2 = 0.9506$)을 보였으며, 응집 · 침전 후의 유출수 탁도로 *Cryptosporidium* 제거 효율을 평가할 수 있음을 알 수 있었다. *Cryptosporidium*의 농도는 탁도와 함께 증가하는 경향을 나타내므로^{9,10} 정수장에서는 원수 및 처리수의 탁도를 상시 측정하여 정수공정에 의해 *Cryptosporidium*을 적정 수준까지 제거할 수 있는지를 파악할 수 있다. 그러나 탁도는 수중에 존재하는 탁질

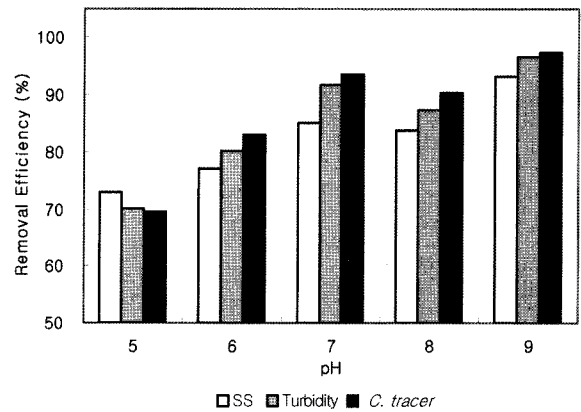


Fig. 3. Removal efficiency of SS, turbidity and C. tracer by pH(Raw water: Temp. - 18.4°C, SS - 29.6 mg/L, Turbidity - 18.1 NTU, Coagulant(PACI) - 10 mg/L).

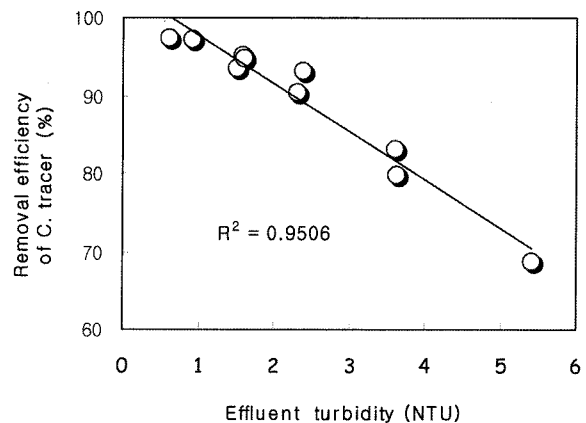


Fig. 4. Relationship between effluent turbidity and removal efficiency of C. tracer in coagulation.

의 종류에 관계없이 전체적인 의미로 파악하는 것으로 *Cryptosporidium*과 완전히 동일하게 보기는 한계가 있으나 탁도를 통해 수중에 존재하는 *Cryptosporidium*의 존재와 공정별 제거효율을 조절할 수 있다고 판단된다.

3.1.4. *C. tracter*의 제거율과 탁도, SS 제거율과의 상관성

Fig. 5는 *C. tracter*의 제거율과 탁도, SS 제거율과의 관계를 나타내었다. SS 제거율보다 탁도 제거율에 비례하여 *C. tracter* 제거율이 높아지는 것을 알 수 있었으며, *C. tracter* 제거율이 탁도 제거율과 높은 상관성($R^2 = 0.9535$)을 나타내고 있어 수원에 존재하는 *Cryptosporidium*이 낮은 농도로 존재할 경우, *Cryptosporidium*을 상시 모니터링 해야 하는 정수장 등에서는 그 검출방법 면에서 시간과 비용 및 고도의 숙련된 기술을 필요로 하는 등의 어려움이 있으므로 응집·침전 후의 유출수 탁도를 *Cryptosporidium* 제거변화의 대체 지표로서 이용할 수 있다고 판단된다.

3.2. 급속모래여과 공정에 의한 *C. tracter* 제거

3.2.1. 유입 탁도에 따른 *C. tracter* 제거율

Fig. 6은 모래여과 column을 이용한 여과 실험에서 유입 탁도에 따른 탁도 제거율과 *C. tracter* 제거율을 나타내었다.

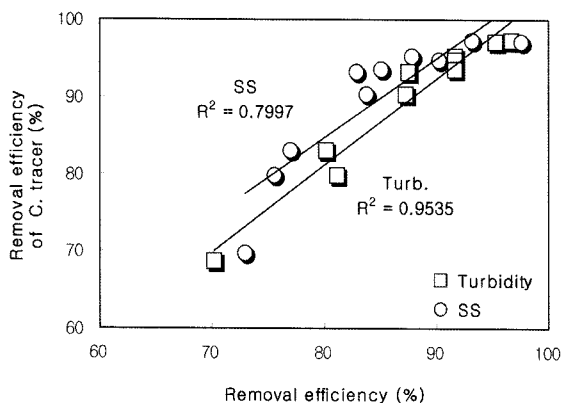


Fig. 5. Correlation between removal efficiency of SS, turbidity and *C. tracter*.

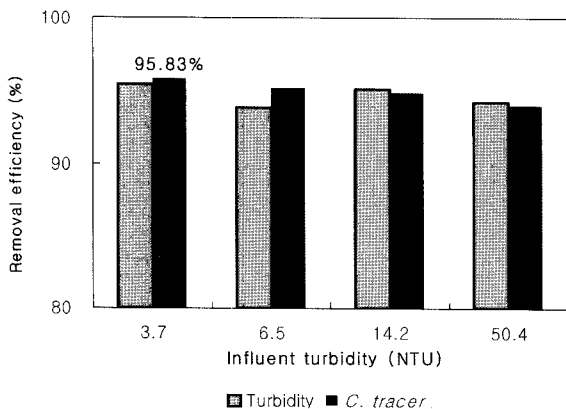


Fig. 6. Removal efficiency of turbidity and *C. tracter* by influent turbidity(Raw water: Temp. - 18°C, pH - 7.29, SS - 20.6 mg/L, Turbidity - 19.2 NTU).

유입 탁도가 증가함에 따라 탁도 제거율과 *C. tracter* 제거율이 조금씩 감소하는 경향이 있기는 하지만, 대체적으로 비슷한 수준을 나타냈으며 *C. tracter* 제거율은 94.00~95.83% 범위였다. 이는 본 실험에 사용된 모래 여과 column이 고탁도의 원수 유입에도 제거율이 높기 때문인 것으로 판단되며, 급속 모래 여과에 의해 예상되는 *Cryptosporidium* 제거율은 약 1.38 log(95.83%)였다.

3.2.2. 유출수 탁도와 *C. tracter* 제거율

Fig. 7은 Fig. 4의 응집·침전 공정에서 유출수 탁도와 *C. tracter*의 제거율과의 관계처럼 급속모래여과 후의 유출수 탁도와 *C. tracter* 제거율의 관계를 나타내었다. 탁도와 트레이서의 제거율과의 상관성이 $R^2 = 0.8704$ 로 나타나 응집·침전 공정 보다 낮은 상관성을 보였다. 이것은 *C. tracter*의 크기가 작고, 모양이 타원형으로 되어 있으며, 비중이 낮은 등의 특성으로 여과공정에서는 제거가 용이하지 못함을 추정할 수 있다. 일본 정수장의 경우, 여과수 탁도를 0.1 NTU 이하로 유지하도록 권하고 있으며, 급속 여과 방식을 채용하고 있는 경우는 원수가 저탁도일 경우라도 반드시 응집체를 이용하여 처리하는 등 상수처리에서 탁도 관리를 철저히 하고 있다. 미국수도협회에서도 수돗물 중의 *Cryptosporidium*에 의한 감염증의 발생을 최소한으로 억제하기 위해 여과수의 탁도를 0.1 NTU 이하로 유지하도록 제안하고 있다. 현재 우리나라에서는 여과수 탁도를 0.3 NTU 이하로 규정하고 있으며 본 연구결과에서는 여과실험 후의 여과수 탁도가 0.2 NUT일 때 *C. tracter*의 제거율이 95.83%로 가장 높게 나타났다. 따라서 *Cryptosporidium* 제거율 향상을 위해서는 정수처리장의 규모와 처리시설에 맞는 여과수 탁도 관리가 중요하다고 판단된다.

3.3. 정수처리 연속공정에 의한 *C. tracter* 제거 검토

Fig. 8은 응집·침전, 급속모래여과, 응집·침전+급속모래여과에 의한 *C. tracter*의 % 제거율과 log 제거율을 산출하여 나타내었다. 이 결과로부터 최적 응집 조건 하에서 정상적으로 운영되고 여과수 탁도가 양호할 경우, *Cryptosporidium* 제거율은 2.31 log(99.51%)로 예상할 수 있다. 표준 정수 공

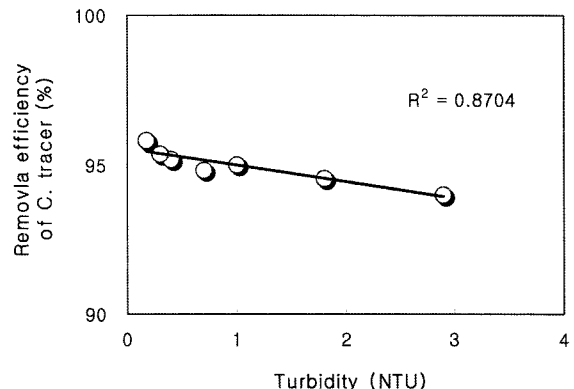


Fig. 7. Relationship between effluent turbidity and removal efficiency of *C. tracter* in filtration.

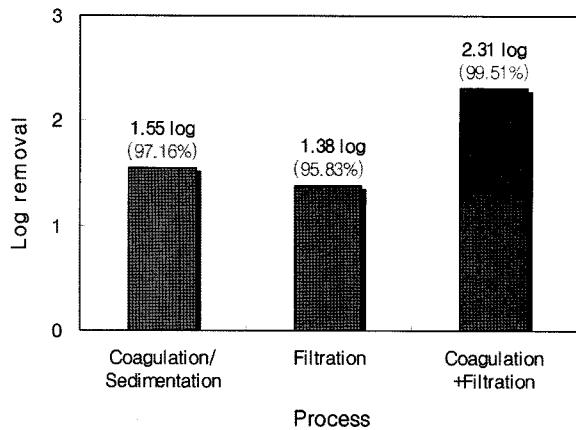


Fig. 8. Removal efficiency of *Cryptosporidium* in coagulation-sedimentation and filtration.

정에 의한 *Cryptosporidium* 제거율에 관한 참고문헌을 조사한 결과,^{11~13)} 응집·침전에 의한 제거율이 1.0~1.5 log이고, 표준적인 급속 모래 여과법(응집·침전+모래여과)에 의한 *Cryptosporidium* 제거율은 1.67~3.40 log, 평균치로 2.50 log로 보고되어 있다. *C. tracer*를 이용한 본 연구 결과, 예상되는 *Cryptosporidium* 제거율은 응집·침전으로 1.55 log(97.16%), 급속모래여과로 1.38 log(95.83%), 응집·침전+급속모래여과에 의해 2.31 log(99.51%)로 나타나 참고문헌과 비슷한 결과를 나타내었다. 연구 결과를 통해서, 대체 인자로서의 유용성에 대한 보다 세밀한 평가를 위해서는 원수 조건 및 운전 조건 등의 변동에 따른 정수처리 과정 중의 제거특성 및 거동에 대해서도 보다 깊이 있는 접근이 필요하다고 판단된다.

4. 결론

1) PACl 주입량이 10 mg/L일 때 *C. tracer*는 97.16%로 가장 높은 제거율을 보였으며, SS, 탁도 제거율도 모두 최대였다. 그리고 응집·침전공정에서 응집제 주입량에 따른 *Cryptosporidium*의 제거효율이 다르게 나타나므로 정수처리에서 최적의 응집제 주입량을 항상 고려해 주어야 할 것으로 판단된다.

2) 응집·침전 실험에서 원수의 pH가 높을수록 *C. tracer* 제거율이 증가하였고 동시에 SS, 탁도 제거율도 증가하였다. 응집·침전 후의 유출수 탁도와 *C. tracer* 제거율의 상관성이 $R^2=0.9506$ 로 나타나 응집·침전 후의 유출수 탁도로 *Cryptosporidium* 제거 효율을 평가할 수 있음을 알 수 있었다. 따라서 정수장에서 원수 및 처리수의 탁도를 상시 측정하여 정수공정에 의해 *Cryptosporidium*을 적정 기준까지 제거할 수 있음을 예측할 수 있다.

3) *C. tracer* 제거율은 SS 제거율보다 탁도 제거율에 비해 하여 증가하였으며, 이때 상관성은 $R^2=0.9535$ 로 나타났다. *Cryptosporidium*은 수중에 매우 낮은 농도로 존재하기 때문에 정수장에서 항상 모니터링 하는 것이 불가능하다. 따라서 탁도를 *Cryptosporidium* 제거변화의 대체 지표로서 이용 가능하다고 판단된다.

4) 여과 실험에서 유입 탁도가 증가함에 따라 탁도 제거율과 *C. tracer* 제거율이 조금씩 감소하는 경향이 있지만, 대체적으로 비슷한 제거 경향을 나타냈다. *C. tracer* 제거율은 94.00~95.83% 범위였으며 유출수 탁도와 *C. tracer* 제거율과의 상관성은 $R^2=0.8704$ 로 나타나 응집·침전공정보다 낮은 상관성을 보였다.

5) *C. tracer*를 이용한 연구 결과, 예상되는 *Cryptosporidium* 제거율은 응집·침전으로 1.55 log(97.16%), 급속모래여과로 1.38 log(95.83%), 응집·침전+급속모래여과에 의해 2.31 log(99.51%)로 나타나 급속모래여과를 거처도 *C. tracer*의 완전한 제거는 어려우므로 현 정수처리 방법의 새로운 모색이 필요하다고 판단된다. 그리고 살아 있는 *Cryptosporidium*의 대체 인자로서의 유용성에 대한 보다 세밀한 평가를 위해 정수처리 과정 중의 제거특성 및 거동에 대해서도 보다 깊이 있는 접근이 필요하다고 판단된다.

사 사

본 연구는 경북환경기술개발센터의 2005년도 연구개발사업 지원에 의해 이루어진 것이며, 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. Kenzie, W. R. Mac, "A massive outbreak in Milwaukee of *Cryptosporidium* infection transmitted through the public water supply," *The New England Journal of Medicine*, **331**(3), 161~167(1994).
2. Betancourt, W. Q., Rose, J. B., "Drinking water treatment processes for removal of *Cryptosporidium* and *Giardia*," *Veterinary Parasitology*, **126**, 219~234(2004).
3. USEPA, National Primary Drinking Water Regulations, "Surface Water Treatment Rule," 141.70~141.80(1989).
4. Robertson, L. J., Paton, C. A., Campbell, A. T., Smith, P. G., Jackson, M. H., Gilmour, R. A., Black, S. E., Stevenson, D. A., and Smith, H. V., "*Giardia* cysts and *Cryptosporidium* oocysts at sewage treatment works in scotland," *Water Res.*, **34**(8), 2310~2322(2000).
5. Ali, M. A., Al-Herrawy, A. Z., El-Hawaary, S. E., "Detection of enteric viruses, *Giardia* and *Cryptosporidium* in two different types of drinking water treatment facilities," *Water Res.*, **38**, 3931~3939(2004).
6. LeChevallier, M. W., Norton, W. D., and Lee, R. G., "*Giardia* and *Cryptosporidium* spp. in Finished Water Supplies," *Appl. Environ. Microbiol.*, **57**(9), 2617~2621(1991).
7. LeChevallier, M. W. and Norton, W. D., "*Giardia* and *Cryptosporidium* in Raw and Finished Water," *J. AWWA*, **87**(9), 54~68(1995).

8. Hancock, C. M., Ward, J. V., Hancock, K. W., and Klonicki, P. T., "Assessing plant performance using MPA : Knowledge of microbiotic particulate composition provides valuable information for assessing treatment plant performance and enhancing plant operation," *J. AWWA*, **88**(12), 24~34(1996).
9. Kim, Y. H., Kim, J. K., Lee, C. H., Lee, S. H., "A Survey of *Cryptosporidium* Characteristics in the Nakdong River Basin," *J. KSEE*, **24**, 1253~1261(2002).
10. 김윤희, "낙동강 증류수계에서 *Cryptosporidium* 분포와 정수처리공정에서의 제거 효율," 영남대학교 대학원 박사학위논문(2005).
11. Nieminski, E. C. and Ongerth, J. E., "Removing *Giardia* and *Cryptosporidium* by conventional treatment and direct filtration," *J. AWWA*, **87**(9), 96~106(1995).
12. Ives, K. J., "*Cryptosporidium*-The new threat in the water, Special seminar on international trends in water environment management," *Japan Society on Water Environment*, 41~48(1996).
13. 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).