

표준정수처리 파일럿에서 *Cryptosporidium* 유사체를 이용한 *Cryptosporidium* 제거효율 평가

박상정[†] · 정현미 · 최희진 · 전용성^{*} · 김종민 · 김태승 · 정동일

국립환경과학원
^{*}인천시 수질연구소

Evaluation on Removal Efficiency of *Cryptosporidium* using Surrogate in Pilot Plant of Conventional Water Treatment Process

Sangjung Park[†] · Hyeonmi Chung · Heejin Choi · Yongsung Jun^{*} · Jongmin Kim · Taeseung Kim · Dongil Chung

National Institute of Environmental Research

^{*}Incheon Metropolitan Waterworks Research Institute

(Received 5 October 2009, Revised 16 March 2010, Accepted 22 March 2010)

Abstract

In order to quantify removal efficiency of *Cryptosporidium* in water treatment process and evaluate factors influencing removal efficiency of *Cryptosporidium* in each step of water treatment process, large pilot plant system (100 m³/day) and Crytracer, surrogate of *Cryptosporidium*, were used. The removal efficiency of Crytracer was around 0.8~1 log in coagulation process and 3.3~4.8 log in sand filtration process under ordinary environmental conditions. Factors influencing removal efficiency of Crytracer were high fluctuate turbidity and water temperature. High fluctuate turbidity made difficult to adjust optimum PAC concentration, caused to drop removal efficiency of coagulation process (0.5 log). Inadequate coagulation process influenced to sand filtration process (2.1 log), caused to decline of removal efficiency in the whole process (2.6 log). Low temperature below 2°C also influenced coagulation process (0.6 log). Therefore, It is shown that careful attention in the control of *Cryptosporidium* is needed in flood period, when high fluctuate turbidity would be, and winter period of low temperature.

keywords : Coagulation, Conventional water treatment process, *Cryptosporidium*, Crytracer, Pilot plant system, Sand filtration

1. 서 론

*Cryptosporidium*은 수인성 병원성 미생물로서 분변으로 오염된 물을 마심으로써 장염 등을 일으키는 등 대규모 먹는물 오염사고의 원인 미생물로 알려져 있다. *Cryptosporidium*에 의한 대표적인 오염사고의 예가 미국의 밀워키에서 발생한 오염사고이다(Mac Kenzie et al., 1994). 따라서, 미국에서는 *Cryptosporidium*을 효율적으로 관리하기 위하여 1998년에 Interim Enhanced Surface Water Treatment Rule (IESWTR)을 제정(US EPA, 1998)하여 *Cryptosporidium*의 최대허용농도 목표치(Maximum Contaminant Level Goal, MCLG)를 0으로 설정하고 급속모래여과 또는 직접여과를 이용하는 시스템에서 *Cryptosporidium*을 최소 2 log 수준으로 제거하도록 하였다. 또한 *Cryptosporidium*으로부터 먹는물의 안전성을 강화하기 위하여 여과수의 탁도기준을 강화하여 통합여과수에서의 탁도기준을 매달 전체시료의 95%

가 0.3 NTU를 초과하지 않도록 하고 어떤 경우에라도 1.0 NTU를 초과하지 않도록 하였다.

국내에서도 1997년부터 야기된 수돗물에서의 장바이러스 검출 논란 이후로 먹는물에서 병원성 미생물에 대한 관심이 높아짐에 따라 2002년도에 정수처리기준을 제정하여 바이러스를 99.99%(4 log), 지아디아를 99.9%(3 log) 제거할 것을 목표로 하고, 이 기준을 만족시키기 위하여 여과지 탁도 및 소독능을 관리하는 것을 주된 목표로 하여 현재까지 관리하고 있다. 그러나, 2002년도에 제정된 정수처리기준(환경부, 2002)에는 *Cryptosporidium*에 대한 목표제거율은 포함되지 않았는데, 그 이유는 국내 정수장 상수원수에서의 *Cryptosporidium*에 대한 분포실태조사 결과가 거의 없어 국내 상수원수에서의 오염수준을 알 수 없었고, 또한 정수처리공정에서 *Cryptosporidium*이 얼마나 제거되는지에 대한 정보가 거의 없었기 때문이었다. 따라서, 정수처리기준에서 *Cryptosporidium*의 목표제거율을 설정하기 위하여 국내 5만톤/일 이상 97개 정수장 상수원수에서 *Cryptosporidium*에 대한 분포실태를 수행한 바 있다(박상정 등, 2010). *Cryptosporidium* 제거효율에 대한 연구는 단위공정

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

수준에서는 국내외에서 많이 수행되어 왔으나(박상정 등, 2007; 정현미와 박상정, 2006; Dupont et al., 1995; Finch et al., 1993; Hirata et al., 1999; Joret et al., 1997; Korich et al., 1989; Ransome et al., 1993; Sundermann et al., 1987) 실공정 수준에서 제거효율에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다. 왜냐하면 제거효율을 평가하기 위해서는 연속적으로 높은 농도의 *Cryptosporidium*을 주입하여 공정별 제거효율을 분석하여야 하나 높은 농도의 *Cryptosporidium*을 다량으로 얻기가 매우 어렵기 때문이다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 연구에서는 *Cryptosporidium* 유사체인 형광비드(Cryptracer)를 이용하여 실공정수준의 파일럿 플랜트에서 공정별 *Cryptosporidium* 제거효율과 제거효율에 영향을 미치는 환경요인 등을 파악하여 먹는물 생산에 있어서 *Cryptosporidium* 관리방안을 제시하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 장치의 구성 및 운전

표준정수처리공정에 의한 원생동물 제거효율 실험은 인천시 상수도사업본부 수질연구소에 설치된 처리용량 100톤/일의 파일럿 플랜트를 이용하여 수행하였다(Fig. 1). 본 시설은 팔당 및 풍납 원수를 도수관을 통해 공급받아 원수에 포함된 모래 등의 큰 입자는 침사지에서 제거된 후 혼화조로 유입되었으며, 미리 Jar test에 의해 결정된 최적 농도의 PAC(Poly aluminium chloride)가 자동적으로 혼화조에 정량주입되었다. 이후 교반속도가 각기 다른 3조의 응집조로 구성된 응집지를 거치면서 형성된 플록은 침전지에서 침전된 후 위어를 통해 상등액은 급속모래여과를 거치도록 구성되었다. 여과지는 감쇄여과방식을 채택하였으며, 여재의 충전깊이는 120 cm (자갈 10 cm, 모래 110 cm)이고 여과속도 120~150 m/day로 운전하였다. 표준정수처리

파일럿 시스템의 제원은 Table 1과 같다.

대규모 파일럿 시설을 이용한 본 실험에서는 다양한 원수의 수질을 정수처리공정에 적용하기 위하여 동일한 운전 방법으로 총 5회 실험을 실시하였다. 역세는 모래여과조의 수두에 의해 자동적으로 역세가 실시되도록 프로그램 되어 있으나 실험과정에서 역세의 영향을 고려하기 위해 역세주기를 8시간으로 고정, 강제적으로 역세가 되도록 하였으며, 총 3회의 역세주기 내에서 실험을 시작하고 완료하도록 설계하였다. 즉, 실험은 모두 첫 역세 후 4시간 이후부터 탁도 등의 이화학적 수질을 1시간 간격으로 실험 종료시까지 지속적으로 측정하였다. *Cryptosporidium* 대체물인 형광비드는 첫 이화학적 수질측정 이후 집종을 개시하여 지속적으로 일정량을 유지하도록 하였다. 형광비드의 제거율을 평가하기 위하여 2차 역세 후부터 3차 역세 직전까지 3~4회의 시료를 채취하여 분석하였다. 시료는 원수, 혼화지 및 모래여과 전후의 지점에서 채수하였다.

2.2. 수질분석

수질은 수온, pH, 탁도 및 입자수(particle count)를 분석하였다. 수온은 일반알코올 온도계를 이용, 현장에서 바로 측정하였으며, pH는 pH meter(model 920A, ORION, USA), 탁도는 탁도계(2100N, HACA, USA)를 이용하였다. 입자수는 입자분석기(Pamas sbss-c, PAMAS, Germany)를 이용하여 분석하였다.

2.3. 형광비드 접종 및 측정

형광비드는 Table 2에 나타난 바와 같이 *Cryptosporidium* 난포낭과 유사한 입경, 비중 및 zeta potential을 가지며 형광필터 하에서 현미경 검경 시 청색을 나타내므로 별도의 형광염색을 수행하지 않았다. 형광비드($10^{12}/10\text{ L}$)를 연동펌프를 이용하여 6.94 mL/min의 속도로 접종시키면 착수정

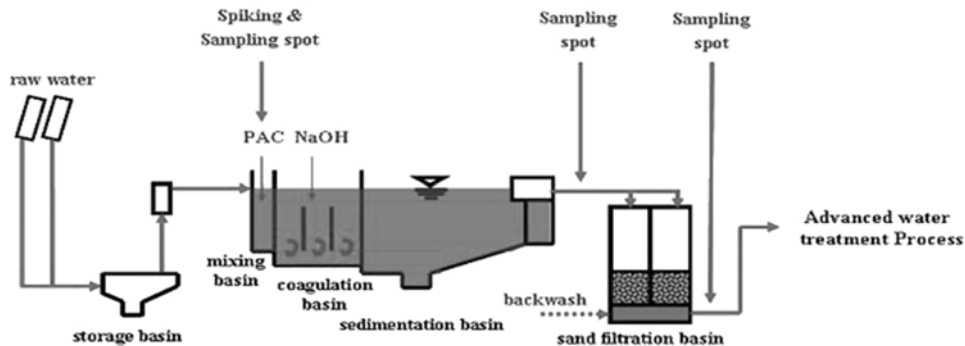


Fig. 1. Schematic diagram of pilot plant.

Table 1. Specification of pilot plant

Facilities	Specification	Retention time
Presedimentation	L 2.5M × W 0.6M × H 1.7M	10 min
Mixing	L 0.6M × W 0.6M × H 0.9M	3 min
Coagulation / Flocculation	L 2.25M × W 1.2M × H 1.05M	30 min
Sedimentation	L 7.5M × W 1.2M × H 1.7M	3 hr
Filtration	L 0.55M × W 0.6M × H 2.3M(×2)	15 min

Table 2. Comparison between Cryptracer and *Cryptosporidium* oocyst

Item	Surrogate (Cryptracer)	<i>Cryptosporidium</i> oocyst
Material	Polymethylmethacrylate (PMMA)	
Diameter	5.0 $\mu\text{m} \pm 0.5$	4.0 ~ 6.0 μm
Specific gravity	1.19 g/cm^2	1.05 ~ 1.10 g/cm^2
Zeta potential	-29 mV (pH 6.6)	-25 mV (pH 6.0 ~ 6.5)
Number	around $10^{12}/\text{L}$ (Colloidal liquid)	
Color	Blue (under fluorescent filter of 340~380 nm)	

에서 혼화조로 들어오는 원수의 유입속도가 약 $100 \text{ m}^3/\text{day}$ ($\approx 69.4 \text{ L}/\text{min}$)이므로 약 $10^7/\text{L}$ 정도가 되도록 혼화조에 접종한 다음 각 채수지점에서 시료를 채수하여 분석하였다.

형광비드 분석을 위해 채수된 시료 중 혼화지 및 모래여과 전 시료는 시료 100 mL를 25 mL로 농축하고 그 중 50 μL 를 웰슬라이드에 놓고 건조시킨 후 현미경 검경하였으며, 모래여과 후 시료는 1 L를 100 μL 로 농축하여 전량 웰슬라이드에 놓고 건조시킨 후 현미경 검경하였다.

한편, 본 실험에 앞서 형광비드를 이용하여 *Cryptosporidium* 난포낭 제거효율을 평가할 수 있는지 여부를 조사하기 위하여 *Cryptosporidium*과 형광비드를 소규모 급속모래여과 컬럼에 접종하여 제거율을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. *Cryptosporidium* 제거율 평가를 위한 지표로서의 형광비드 평가

형광비드를 이용하여 *Cryptosporidium* 난포낭 제거효율을 평가할 수 있는지 여부를 조사하기 위하여 *Cryptosporidium*과 형광비드를 소규모 급속모래여과 컬럼에 접종하여 제거율을 비교하였다. 동일한 조건에서 수행한 제거율 실험에서 형광비드가 *Cryptosporidium*보다 제거율이 유사하거나 낮게 나타났고 특히 제거효율이 높은 유효여과단계에서 형광비드 제거율의 저하가 크게 나타났다. *Cryptosporidium*과 형광비드의 제거율간에는 매우 유의한 상관관계($r^2=0.83$)를 나타내어 형광비드를 *Cryptosporidium* 난포낭 제거효율 평가의 지표로 사용할 수 있을 것으로 판단하였고, *Cryptosporidium*을 사용한 경우보다 제거율이 저평가될 것으로

예상되었다.

3.2. 형광비드, 탁도 및 입자수의 제거효율 평가

본 연구에서는 연속 공정상에 동일한 방식으로 운전하면서 수질조건이나 환경조건의 변화에 따른 영향을 조사하기 위하여 모두 5회 접종 실험을 실시하였으며, 본 실험조에 유입된 원수는 전염소처리를 하지 않는 것으로 확인되었다. 각 실험시 *Cryptosporidium*의 제거에 영향을 미칠 수 있는 원수 수질인 탁도, pH, 수온 등 주요 인자와 조건별 접종된 형광비드 수 및 입자수에 대한 조사결과를 Table 3에 나타내었으며, 각 실험조건에서의 단위공정별 탁도, 형광비드 및 입자수의 제거효율은 Table 4에 나타내었다. 실험 1에서는 실험과정동안 36.3~92.7 NTU의 탁도변동과 평균 15.1°C 를 나타내어 홍수기를 대표하는 수질을 반영하였다. 이 조건에서 형광비드는 1,115,000~6,620,000 개/L의 개체수로 주입되었으며 공정별 형광비드 및 탁도제거율은 응집 침전공정에서 각각 0.53 log, 0.44 log, 모래여과공정에서 각각 2.13 log, 0.69 log로 전체 제거효율은 각각 2.66 log, 1.13 log를 나타내어 실험 2~4의 평수기 조건에서의 전체 형광비드 및 탁도 제거효율보다 현저히 저하되었다. 저하원인은 pH 7~8 및 실온의 조건에서 원수 탁도와는 상관없이 응집제 농도만 적정하면 99%(2 log) 이상 제거율을 나타내는 것으로 보고한 이전의 연구결과(정현미와 박상정, 2006)로 미루어볼 때 원수의 탁도가 높았기 때문이라기보다는 탁도의 변동성이 워낙 심하여 적정 응집제의 농도를 맞출 수 없었기 때문이며, 불안정한 응집침전은 이후 급속모래여과 공정에 영향을 끼쳤고, 이로 인해 전체 제거효율이 훨씬 낮아진 것으로 판단된다.

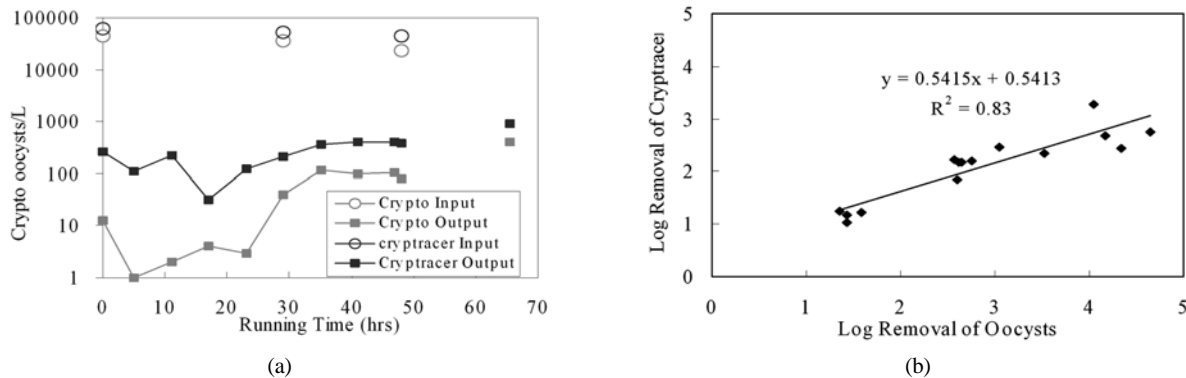


Fig. 2. Comparison of removal (a) between *Cryptosporidium* and Cryptracer, and the regression analysis (b) of removal of Cryptracer and *Cryptosporidium*.

Table 3. The number of Cryptracer spiked, particle counts and water parameters in each condition

Condition		Cryptracer spiked (/L)	Particle counts (/10mL)		Turbidity (NTU)	pH	Temp.
			3~7 μ m	Total			
1	Mean	3,049,000	-	-	50.9	7.2	15.1
	Max	6,620,000	-	-	92.7	7.2	15.5
	Min	1,115,000	-	-	36.3	7.1	15.0
2	Mean	11,410,000	-	-	12.1	7.4	16.8
	Max	13,050,000	-	-	19.1	7.4	17.0
	Min	9,840,000	-	-	6.8	7.3	16.5
3	Mean	3,689,000	310,000	1,712,000	3.1	6.9	23.0
	Max	4,615,000	515,000	3,539,000	7.7	7.0	23.0
	Min	2,845,000	117,000	961,000	1.4	6.8	23.0
4	Mean	4,325,000	149,000	1,629,000	1.2	7.1	20.6
	Max	5,325,000	175,000	1,761,000	1.6	7.2	21.0
	Min	3,235,000	110,000	1,396,000	0.9	7.1	20.0
5	Mean	9,655,000	1,280,000	4,491,000	2.6	8.0	1.2
	Max	11,300,000	1,378,000	4,899,000	2.7	8.2	2.0
	Min	8,940,000	1,183,000	4,180,000	2.5	7.8	1.0

Table 4. The removal efficiency of Cryptracer and turbidity by coagulation, sand filtration and whole process at each experiment

Condition	Log removal ratio of							
	Cryptracer			Turbidity			Particle counts	
	Coagulation	Filtration	Whole	Coagulation	Filtration	Whole	Filtration	
							3~7 μ m	Total
1	0.53	2.13	2.66	0.44	0.69	1.13	-	-
2	0.77	4.78	5.55	0.67	1.47	2.14	-	-
3	1.04	3.26	4.30	0.71	1.43	2.14	1.72	1.48
4	1.06	3.81	4.87	0.81	1.03	1.84	1.43	1.66
5	0.56	3.09	3.64	0.50	1.23	1.73	2.45	2.31

실험 2는 홍수기가 1주일 정도 경과하여 탁도가 어느 정도 안정화되고 탁도의 변동이 그다지 심하지 않은 조건이었으며, 형광비드는 9,840,000~13,050,000 개/L의 개체수로 주입되었다. 실험 3은 평균수온이 23°C, 탁도의 범위가 1.4~7.7, 실험 4는 평균수온 20.6°C, 탁도의 범위가 0.9~1.6 NTU의 비교적 안정한 수질조건을 나타내었으며 형광비드는 각각 2,845,000~4,615,000 개/L, 3,235,000~5,325,000 개/L의 개체수로 주입되었다. 이러한 조건에서의 형광비드 및 탁도제거율은 응집침전공정에서 각각 0.77~1.06, 0.67~0.81 log 제거율을, 모래여과공정에서는 각각 3.26~4.78, 1.03~1.47 log 제거율을 나타내었다.

실험 5는 평균수온이 1.2°C, 탁도범위가 2.5~2.7 NTU의 조건과 형광비드는 8,940,000~11,300,000 개/L의 개체수로 주입되었으며, 대표적인 동절기의 수질을 반영하였는데 이 조건에서는 형광비드 및 탁도 제거효율은 응집침전공정에서 각각 0.56 log, 0.50 log를 나타내어 전반적으로 제거효율이 저하되었다. 이는 박상정 등(2007)에 의한 실험실 규모에서의 결과에서 5 NTU의 저탁도 시료, 저온(5°C)의 조건은 적정 응집제 요구량이 증가하며, 증가된 응집제량으로도 제거효율이 저하됨을 보고한 것과 일치한 결과를 얻을 수 있었다.

본 연구의 결과는 *Cryptosporidium*을 대상으로 한 것이 아니고 앞에서 설명한 대로 제거율이 *Cryptosporidium*보다 다소 낮은 형광비드를 사용하여 얻은 결과로서 실제

*Cryptosporidium*을 적용한다면 제거율이 다소 더 높아지는 것을 감안한다면, States 등(1995)의 응집침전공정에서 *Cryptosporidium* 제거율이 0.5~1 log, *Cryptosporidium*을 접종하여 실험한 전체 제거율이 2.9 log 제거율을 나타낸 결과 (Nieminski and Ongerth, 1995)와 비교할 때 비슷하거나 다소 높은 제거율을 나타낸다고 할 수 있다.

따라서, 형광비드의 제거효율에 영향을 끼치는 인자는 탁도의 변동과 수온을 들 수 있는데, 이들 인자는 모두 응집침전과정의 효율을 우선적으로 저하시킨다는 점에서 Walter and Joan(2004)의 정수처리공정 중 *Cryptosporidium* 제거는 응집침전의 효율에 크게 영향을 받는다는 연구결과와 일치한다. 그러므로, 홍수기 등 원수에서 탁도 변동이 심한 경우와 동절기에 원수에서 병원성 *Cryptosporidium*이 다량 존재할 때 충분히 응집침전이 이루어지지 않는다면 *Cryptosporidium*에 대한 오염사고가 일어날 가능성이 충분히 있을 것으로 판단된다.

한편, 실험 3, 4, 5조건에서는 원수부터 정수처리공정 단계별로 입경별 입자수를 측정하여 입자수 제거율을 측정하였다. 그 결과, 처리효율이 떨어지는 동절기 조건인 실험 5 조건에서 총입자수 제거율이 2.31 log, 크립토스포리디움과 유사한 직경인 3~7 μ m 입자수 제거율이 2.45 log를 나타내어 오히려 실험 3, 4 조건보다 제거율이 더 높은 것으로 나타났다.

입자수의 제거양상을 좀 더 정확하게 분석하기 위하여 정수처리과정 단계별로 입경별 입자수 분포비율을 조사한 결과, 조건 3에서는 여과전 단계에서 7 μm 이상의 입경 분포비율이 높아졌다가 여과후 단계에서 다시 낮아졌다. 이는 응집반응에서 형성된 미세플록의 영향으로 다른 크기의 입경보다 덜 제거가 된 것으로 추측되었다. 조건 5에서도 1~3 μm 의 입경 분포비율이 점차 높아졌는데 저온의 영향으로 응집반응에 영향을 끼쳐 미세한 플록의 형성으로 인해 다른 크기의 입경보다 제거가 부족한 것으로 추측되었다. 크립토스포리디움과 유사한 크기인 3~7 μm 입자수는 세 조건 모두에서 정수처리공정을 거처도 분포비율에는 큰 차이를 나타내지는 않은 것으로 나타났다.

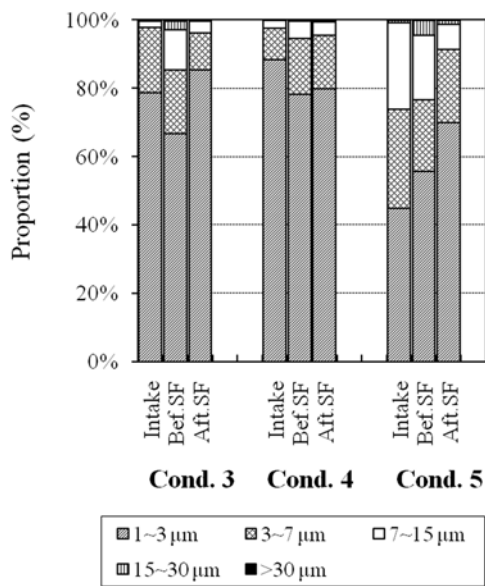


Fig. 3. Proportion of particle size according to water treatment process at 3, 4 and 5 condition.

3.3. *Cryptosporidium* 제거율 지표로서의 탁도 및 입자수 평가

Cryptosporidium 제거율의 지표로서 탁도 및 입자수의 가능성을 조사하기 위해 실험과정동안 원수, 혼화조, 응집침전후, 모래여과후 지점에서의 탁도변동과 모래여과후 지점에서의 입경별 입자수를 조사하였다(Fig. 4). 혼화조에 응집제 및 형광비드가 투입됨에 따라 전반적으로 혼화조의 탁도가 원수의 탁도보다 높게 나타났으며 이후 지점인 응집침전공정에서 일부 탁도가 제거되었고 급속모래여과공정을 거치면서 대부분 탁도가 제거되었다.

실험 1은 원수에서의 탁도변동이 너무 심하여 응집침전공정이 적절하게 이루어지지 않았으므로 이후 과정인 모래여과과정에서도 효과적으로 탁도제거가 이루어지지 않았다. 그 결과, 모래여과후 지점에서의 탁도는 0.3~12.6 NTU를 나타내어 현재 국내 정수처리기준인 0.3 NTU를 만족할 수 없었다. 실험 2~5에서는 모래여과후 지점에서의 탁도가 0.2 NTU 이하를 나타내었다. 모래여과후 지점에서의 입경별 입자수에 있어서는 입경이 가장 작은 1~3 μm 의 입자수가

가장 많이 검출되었고 입경이 클수록 낮게 검출되었다.

실험조건별로 보면, 실험 1에서는 탁도의 누출이 높았고, 특히 1~3 μm 의 작은 입자수의 누출이 높았다. 또한 실험 시작후 11시간대에 탁도에서는 나타나지 않은 입자수가 갑자기 증가하는 현상이 나타나 입자수의 변동이 탁도보다 민감함을 알 수 있었다.

실험 2의 경우 입자수가 안정되게 낮게 유지되다가 8시경에 탁도에는 나타나지 않은 입자수 증가 현상이 나타났다. 실험 3, 4의 경우에도 전반적으로 입자수가 낮고 안정되게 유지되었으나 역시 1~3 μm 의 작은 입경의 입자수가 상대적으로 높게 나타났다.

특히 실험 5의 경우에서는 실험과정 내내 일정한 탁도를 유지하였고, 모래여과수의 탁도 또한 0.1 NTU 이하로 탁도를 유지하였으나, 입자수에 있어서는 2시간경 및 12시간경에 1~3 μm 입경의 입자수 증가 현상을 나타내었다.

이들 결과로부터 *Cryptosporidium*의 제거효율을 평가하는 지표로서 모래여과수의 탁도와 입자수를 비교하면 입자수 증가 현상이 두드러지고 탁도보다 훨씬 변동이 커 *Cryptosporidium* 제거효율을 평가하는데 입자수는 적절하지 않은 것으로 나타났다.

이전의 연구결과에서 Tom and Brian(1997)이 *Cryptosporidium*을 모니터링하고 관리하는데 입자수가 아주 훌륭한 지표역할을 한다고 한 반면에 Edzwald 등(2000)은 입자수가 원생동물의 제거효율을 평가하는데 지표로는 적합하지 않다고 보고한 바 있다.

4. 결론

실공정수준의 파일럿 플랜트 및 형광비드를 이용하여 공정별 *Cryptosporidium*의 제거효율 평가에 대한 결론은 다음과 같다.

- 1) 크립토스포리디움과 형광비드의 제거율간에 매우 유의한 상관관계($r^2=0.83$)를 나타내어 형광비드를 크립토스포리디움 난포상 제거효율 평가의 지표로 사용할 수 있을 것으로 판단되었으며, 형광비드가 크립토스포리디움보다 제거율이 유사하거나 낮게 나타나 크립토스포리디움을 사용한 경우보다 제거율이 저평가될 것으로 예상되었다.
- 2) 정수장과 동일한 원수를 사용하는 표준정수처리공정의 대규모 파일럿(일일 생산규모 100톤)의 연속공정에서 *Cryptosporidium* 대체물로 형광비드를 사용하여 제거율을 평가한 결과, 우기 집중 폭우로 인하여 원수 탁도의 변동이 매우 심했던 조건(36.3~92.7 NTU) 및 동절기(평균수온 1.2°C)를 제외하고, 급속여과공정까지 평균 4.3~5.6 log까지 제거되었다. 형광비드로 예측해 본 *Cryptosporidium*의 제거효율에 가장 큰 영향을 끼치는 인자는 탁도의 변동과 수온으로 나타났다.
- 3) *Cryptosporidium* 제거율의 지표로서 탁도와 입자수의 가능성을 조사한 결과, 입자수는 갑자기 증가하는 등 탁도보다 훨씬 변동이 커 *Cryptosporidium* 제거효율을 평가하는데 적절하지 않은 것으로 나타났다.

Condition

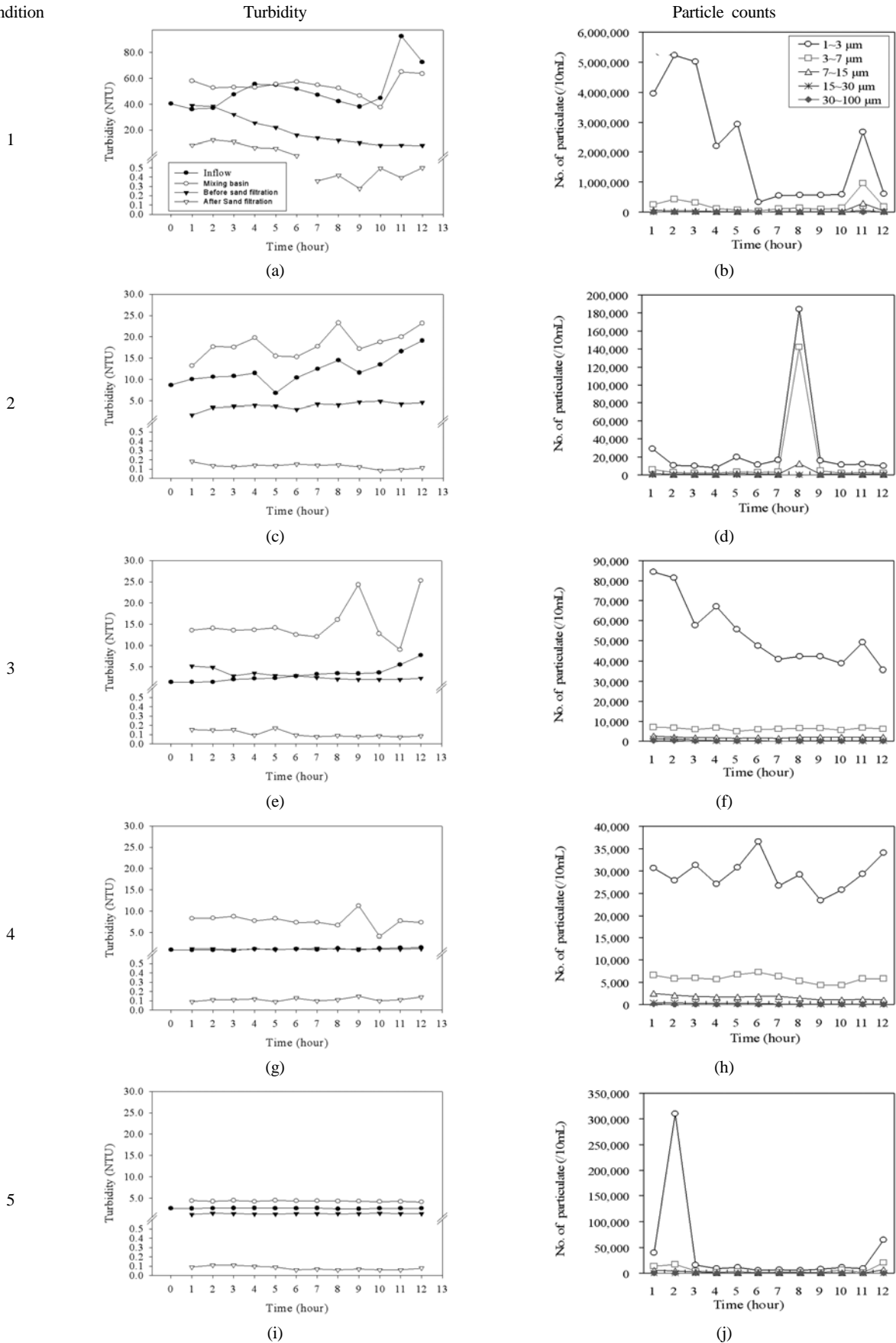


Fig. 4. Fluctuation of turbidity (a,c,e,g,i) at each condition, and fluctuation of particle counts (b,d,f,h,j) according to particle size after sand filtration process during the running time.

참고문헌

- 박상정, 김종민, 김태승, 정동일, 이목영, 남세희, 윤종호, 정종문, 조은주, 전현숙, 장은숙, 정미은(2010). 국내 5만톤/일 이상 대규모 정수장 원수에서 크립토스포리디움 및 지아디아 분포특성. *수질보전 한국물환경학회지*, **26**(2), pp. 261-267.
- 박상정, 정영희, 정현미(2007). 응집침전공정에서 수온, 응집제 종류, 전염소 주입에 따른 크립토스포리디움과 지아디아 제거 효율 변화에 관한 연구. *상하수도학회지*, **21**(5), pp. 531-538.
- 정현미, 박상정(2006). 원수 탁도와 pH 변화가 혼화응집침전 과정에서 원생동물과 탁질 제거에 미치는 영향. *상하수도학회지*, **20**(1), pp. 71-78.
- 환경부(2002). 정수처리에 관한 기준.
- Dupont, H. L., Chappell, C. L., Sterling, C. R., Okhuysen, P. C., Rose, J. B., and Jakubowski, W. (1995). The Infectivity of *Cryptosporidium parvum* in Healthy Volunteers. *N. Engl. Jour. Med.*, **332**, pp. 885-859.
- Edzwald, J. K., Tobiason, J. E., Parento, L. M., Kelley, M. B., Kaminski, G. S., Dunn, H. J., and Galant, P. B. (2000). *Giardia* and *Cryptosporidium* removals by clarification and filtration under challenge conditions. *J. AWWA*, **92**, pp. 70-84.
- Finch, G. R., Black, E. K., Gyurek, L. L., and Belosevic, M. (1993). Ozone Inactivation of *Cryptosporidium parvum* in Demand-Free Phosphate Buffer Determined by In vitro Excystation and Animal Infectivity. *Appl. and Envir. Microbiol.*, **59**, pp. 12:4203.
- Hirata, T., Chikuma, D., Shimura, A., Hashimoto, A., Motoyama, N., Takahashi, K., Moniwa, T., Kaneko, M., Salto, S., and Maede, S. (1999). Effects of ozonation and chlorination on viability and infectivity of *Cryptosporidium parvum* oocysts. *Water Science and Technology*, **41**, pp. 39-46.
- Joret, J. C., Baron, J., Langlais, B., and Perrine, D. (1997). Inactivation of *Cryptosporidium* sp. oocysts by ozone evaluated by animal infectivity. *Proceedings of International Ozone Conference*, pp. 739-744.
- Korich, D. G., Mead, J. R., Madore, J. S., Sinclair, N. A., and Sterling, C. R. (1989). Chlorine and Ozone Inactivation of *Cryptosporidium* Oocysts. *In Proc. of the Water Quality Technology Conference Proceedings*. Philadelphia, PA. Denver, CO.: AWWA.
- Mac Kenzie, 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.
- Nieminski, E. C. and Ongerth, J. E. (1995). Removing *Giardia* and *Cryptosporidium* by conventional treatment and direct filtration. *J. AWWA*, **87**, pp. 96-106.
- Ransome, M. E., Whitmore, T. N., and Carrington, E. G. (1993). Effect of Disinfectants on the Viability of *Cryptosporidium parvum* Oocysts. *Water Supply*, **11**, pp. 75-89.
- States, S. M., Sykora, J., Stadterman, K., Wright, D., Baldizar, J., and Conley, L. (1995). Sources, occurrence and drinking water treatment removal of *Cryptosporidium* and *Giardia* in the Allegheny river. *Proceedings of the 1995 Water Quality Technology Conference*. New Orleans, AWWA, Denver, CO. pp. 1587-1601.
- Sundermann, C. A., Lindsay, D. S., and Blagburn, B. L. (1987). Evaluation of Disinfectants for ability to kill Avian *Cryptosporidium* Oocysts. *Companion Animal Practice*, **2**, pp. 36-39.
- Tom, H. and Brian, C. (1997). Particle counters as tools for managing *Cryptosporidium* risk in water treatment. *Water Science and Technology*, **36**(4), pp. 143-149.
- US EPA (1998). Federal register 40 CFR Parts 9, 141, and 142 National Primary Drinking Water Regulations: Interim Enhanced Surface Water Treatment ; Final Rule.
- Walter, Q. B. and Joan, B. R. (2004). Drinking water treatment process for removal of *Cryptosporidium* and *Giardia*. *Veterinary Parasitology*, **126**, pp. 219-234.