

응집침전공정에서 수온, 응집제 종류, 전염소 주입에 따른 크립토스포리 디움과 지아디아 제거 효율 변화에 관한 연구

The Effects of Temperature, Coagulants, and Pre-chlorination on the Removal of *Cryptosporidium* and *Giardia* by Coagulation Process

박상정 · 정영희 · 정현미*

Sang-Jung Park · Young-Hee Chung · Hyen-Mi Chung*

국립환경과학원

(2007년 3월 28일 논문 접수; 2007년 9월 21일 최종 수정논문 채택)

Abstract

The effects of temperature, coagulants and pre-chlorination on the removal of turbidity and pathogenic protozoa by coagulation process were investigated using jar test of lab scale. In room temperature (25°C), protozoa were removed over 1.0log at the proper concentration range of coagulants, and up to over 2log at the optimal concentration of coagulants. Considering the 1.5log target removal for *Giardia* in the processes of coagulation, sedimentation, and filtration, this results implies that the target could be satisfied. However, the removal of protozoa and turbidity was reduced, and optimal PAC concentration was narrowed in low turbidity and cold temperature (5°C). These results suggest that the drop of coagulation efficiency may be occurred in winter if the conditions are not optimized. Despite the effect of water temperature, the relation of turbidity and protozoa removal appeared to be good. The various kinds of coagulants did not significantly affected for removals of turbidity and protozoa when the concentrations of Al_2O_3 were considered. Prechlorination did not increase or decrease the removal of turbidity and protozoa in optimum condition at room temperature, pH 7, 15mg/L of PAC concentration.

Key words: *Cryptosporidium* oocyst, *Giardia* cyst, temperature, coagulatants, pre-chlorination, turbidity

주제어: 크립토스포리디움 난포낭, 지아디아 포낭, 온도, 응집제, 전염소, 탁도

1. 서론

1980년대 말부터 영국, 미국, 일본 등 주요 선진
국에서 발병사례가 보고되기 시작한 크립토스포리디

움과 지아디아 등 원생동물은 사람 및 동물 등 숙주
의 체외로 내성이 매우 큰 포낭과 난포낭을 형성하여
배출하므로 자연 환경 및 정수처리 공정 가운데 소독
공정에 대한 내성이 다른 미생물보다 높다. 특히 크
립토스포리디움 난포낭의 경우 미생물의 최종 제거

*Corresponding author: Tel: +82-32-560-7483, FAX: +82-32-560-7493, E-mail: hyermic@me.go.kr (Chung, H.M.)

공정인 염소에 대한 내성이 높아서 미생물 제거를 위한 정수처리 공정의 처리 대표 미생물(model organisms)로 간주되어 이들 원생동물의 분석기술과 정수처리 및 관리기술에 대한 연구가 활발히 진행되어 왔으나, 국내에서는 원생동물에 대한 처리 연구가 매우 한정되어 있고 특히 다양한 국내 환경영향에 대한 연구가 드문 실정이다(정 등, 2006; 박 등, 2006; 정 등, 2002).

원생동물은 기존 정수처리 공정에서 염소 소독에 의해 잘 죽지 않기 때문에 대체 소독기술의 개발과 더불어, 원생동물을 효과적으로 제어할 수 있는 여과 공정의 효율에 대한 평가와 최적화가 매우 중요한데(WHO, 2002; USEPA, 1989), 특히 화학적 전처리인 혼화응집공정의 최적화가 여과효율에 가장 중요한 영향을 미치는 요인 중 하나로 보고되어 있다(Dugan, et al., 2001; Betancourt and Rose, 2004; Emelko, 2003). 물속에서 음성 전하를 띠는 크립토스포리디움 난포낭은(Ongerth and Pecoraro, 1996; Rice et al., 1996) 혼화응집공정에서 수질, 응집제 종류와 투여량, pH, 수온과 같은 다양한 요인에 의해 영향을 받는다.

이에 따라 정수처리 단위 공정 중 화학적으로 중요한 첫 단계인 혼화응집(침전)에 의한 크립토스포리디움 난포낭과 지아디아 포낭 제거에 미치는 환경과 운전 요인을 jar test를 이용하여 연구하고 잔류탁도와 비교하고자 하였다. 수질의 화학적요인인 원수 탁도와 수소이온농도의 영향에 대한 보고(정 등, 2006)에 이어 본 논문에서는 수온의 영향과 응집제 종류와 투여량, 전염소처리 여부의 영향을 조사하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 시료조제

본 실험에 사용된 매질은 자연 건조한 저니토 및 인공탁도물질인 카올린을 잔류염소를 제거한 수돗물에 적당량 첨가하여 일정 탁도로 조제하여 사용하였다.

혼화응집시험을 위하여 6개의 500mL 메스실린더에 일정 탁도로 조제한 매질을 400mL 정도 넣고 살아있는 *Cryptosporidium parvum* oocyst 및 *Giardia lamblia* cyst 배양액($10^7/8\text{mL}$, Waterborne Inc., USA)을 인산

완충용액(phosphate buffured saline, 150mM, pH 7.2)에 희석하여 각 시료 당 원생동물 접종량이 1×10^5 cells 정도가 되게 각각의 매질에 접종하고, 응집제를 0, 5, 15, 25, 35, 45mg/L이 되도록 주입하여 최종 500mL로 매질을 채운 후 1L 비이커에 옮겨 Jar tester(Dong Yang science co., Korea)에서 급속 혼화하였다.

2.2. Jar test 조건

Jar test는 130rpm으로 1분간 급속혼화, 35rpm에서 10분간 완속혼화로 응집반응을 유도한 후 20분간 침전의 순으로 동일하게 수행하였다.

2.3. 온도에 의한 영향 조사

혼화응집에 대한 온도의 영향을 보기 위해 저탁도(5NTU) 및 고탁도(30NTU) 시료에 대해 냉장 chamber(5°C)에서 저온 실험을 수행하였다.

2.4. 응집제에 의한 영향 조사

국내 정수장에서 널리 쓰이는 폴리염화알루미늄(polyaluminum chloride, PAC), 폴리염화알루미늄규산(Poly Aluminium Chloride Silicate, PACS) 및 염화제이철($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)을 사용하여 탁도를 5, 30NTU로 조절한 시료에 대해 상온, 중성 pI 조건에서 실험하였다. 폴리염화알루미늄($[\text{Al}_2(\text{OH})_n\text{Cl}_{6-n}]_m$)은 Al_2O_3 10.2%인 제품을 사용하였고, 폴리염화알루미늄규산(PACS)은 Al_2O_3 17.1%인 제품을 사용하였다. 사용한 PAC와 PACS 모두 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준에 모두 적합하였다(data not shown). 염화제이철은 수처리제의 기준과 규격 및 표시기준에는 액체 염화제이철을 사용하도록 되어 있으나 편의상 혼한 실험시약으로 사용되는 분말상의 염화제이철을 가지고 PAC 및 PACS와 같은 농도로 실험하였다.

2.5. 전염소 주입에 의한 영향 조사

혼화응집에 대한 전염소 주입 영향 실험을 위해 저탁도(5NTU) 및 고탁도(30NTU) 시료에 대해 적용하였다. 전염소 투여 실험에 사용한 염소농도는 차아염소산나트륨용액을 투입하였고, 잔류염소농도의 측정은 비색관에 σ -톨리신 용액 0.5mL(한방울)을 넣고 여기에 시료 10mL를 넣은 후 5~10분간 방치하여

잔류염소계를 이용, 비색표를 가지고 잔류염소를 측정하였다. 응집침전실험후의 잔류염소도 같은 방법으로 측정하였다.

$$F = ae^{\left[-0.5\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2\right]} \tag{B}$$

$$F = a(1 - b^x) \tag{C}$$

2.6. 수질과 지아디아, 크립토스포리디움 측정
탁도와 pH는 turbidometer(2100P, Hach Inc.)와 pH meter(twin pH, Horiba Inc.)로 측정하였고, 알칼리도는 적정법으로 측정하였다.

$$F = y_0 + \frac{a}{1 + \left(\frac{x - x_0}{b}\right)^2} \tag{D}$$

크립토스포리디움 및 지아디아는 다음과 같은 방법으로 측정하였다. Jar test에서 침전 후 상등액 100mL를 정확하게 분취하여 원심분리(3,000rpm, 30분)한 후, 약 2mL를 제외한 상등액을 제거하고 증류수로 최종 8mL로 조정하였다. 전처리 시료 8mL 중 80μL를 슬라이드웰에 떨어뜨린 후 자연 건조시켜 *Cryptosporidium* oocysts 및 *Giardia* cysts에 대한 단일항체로 구성된 fluorescence isothiocyanate(FITC) 직접염색키트(Meridian Diagnostics, Inc.)와 4',6-diamidino-2-phenylindol(DAPI)용액(150mM PBS 50mL에 2mg/mL DAPI 10μL를 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.

2.7. 제거율 곡선의 best-fit equation

응집제 투여량에 따른 제거율 곡선은 4개의 모델을 사용하였다. 응집제 투여량에 따라 제거율이 증가하여 최대점을 유지하는 데이터는 exponential rise to max(A)와 simple exponent with two parameter(C) equation을, 응집제 투여량에 따라 증가 후 감소하는 데이터는 Gaussian equation(B)과 Lorentzian 4 parameter(D)를 사용하였다. 각각의 공식은 다음과 같으며, 모델이 잘 맞는지 여부는 통계처리로 확인하였다(data not shown).

$$F = a(1 - e^{-bx}) \tag{A}$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 온도의 영향

혼화응집에 미치는 온도의 영향을 조사하기 위하여 PAC 주입량에 따른 탁도와 원생동물의 변화 실험을 25°C 상온과 5°C의 저온에서 수행하였다. 이때 사용한 시료는 자연건조한 저니토와 하천수를 현탁하여 탁도시료를 조제하였다. 상온에서는 크립토스포리디움, 지아디아 모두 15mg/L에서 가장 낮게 검출되었다. 저온에서는 고탁도 시료의 경우 PAC 주입량 15mg/L 이상에서 잔류탁도와 원생동물이 95% 이상 감소하여 상온에서의 결과와 유사하였다. 저탁도 시료의 경우 응집제 주입농도증가에 따라 잔류탁도나 원생동물이 감소하기는 하였으나, 탁도는 PAC 25mg/L 이상 주입시야야 1NTU로 감소하였고, 잔류 원생동물은 PAC 45mg/L에서도 약 1,500~7,000개 체수가 잔류하였다(Fig. 1).

저탁도 시료에서 저온 조건 시에 응집효율이 저하되는 현상을 다시 한번 확인하기 위한 2차 실험으로 5NTU의 저탁도 시료를 카올린으로 조제하여 저온에서 jar test를 수행하였다.

카올린으로 조제하여 실험한 2차 시험결과도 1차 시험의 결과와 매우 동일한 결과를 나타내었다. 특히 1차 시험에서는 탁도의 제거효율 저하 정도가 원생동물보다는 낮았던데 반하여 2차 시험에서는 탁도의 제거효율도 원생동물과 동일한 패턴으로 저하되었다(Fig. 2). 탁도는 PAC 35mg/L 이상 주입해야 1NTU를 유지하였고, 원생동물은 PAC 45mg/L에서도 1,000개체수 이상 잔류하였다.

상온에서 최적 응집효율을 보였던 PAC 15mg/L에서 탁도 및 원생동물 크립토스포리디움과 지아디아의 제거율은 각각 32, 6.7, 33.7%를 나타내어 응집침전

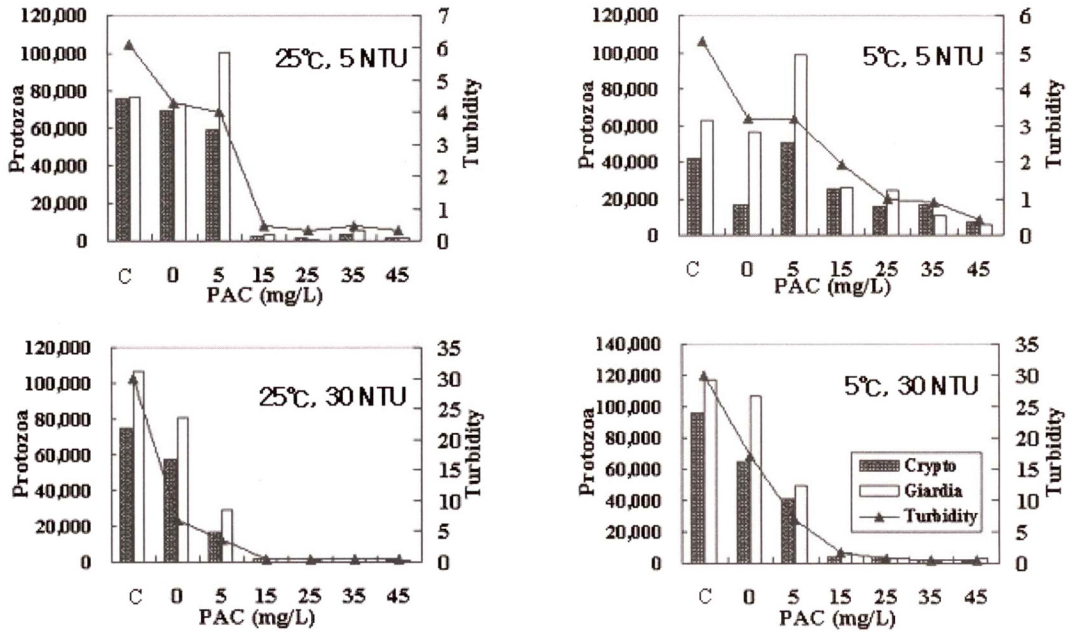


Fig. 1. Residual turbidity, *Cryptosporidium* and *Giardia* according to the PAC concentration at 25°C and 5°C.

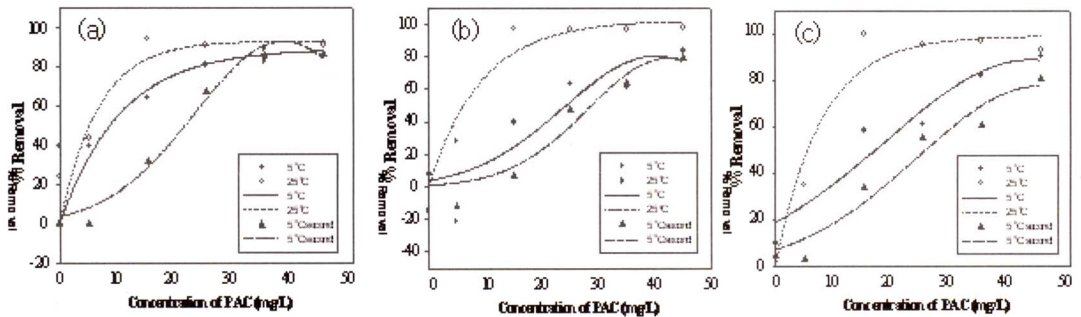


Fig. 2. The effects of temperature on turbidity (a) and *Cryptosporidium* (b), *Giardia* (c) removal at low turbidity water of 5 NTU (pH 7.6, 38 mg/L-alkalinity).

의 효과가 현저히 떨어짐을 알 수 있었다. PAC의 농도가 높아질수록 제거율도 높아졌으나 PAC 45mg/L 인 고농도에서도 제거율은 각각 86.2, 79.2, 80.9%밖에 상승하지 않았다. 결론적으로 고탁도 시료는 영향을 받지 않으나, 저탁도 시료는 저온에서 응집제의 요구량이 증가하며, 증가된 응집제량으로도 제거효율이 저하됨을 재확인 하였다.

상온과 저온 조건의 동일 batch에서 수행된 실험에서 탁도 제거율과 원생동물제거율 간의 관계를 회귀 분석으로 구하였을 때, 크립토스포리디움, 지아디아

두 원생동물 간의 제거율은 거의 1:1의 관계로 유의한 1차식을 나타내었다(Table 1). 특히 상온과 저온 1, 2차 실험에서 r^2 값이 각각 0.97, 0.87, 0.95로 매우 높은 유의 수준을 보여, 온도에 따른 원생동물의 종류간의 제거율 차이는 나타나지 않았다. 뿐만 아니라, 원생동물과 탁도와와의 제거율도 모두 유의한 1차식(r^2 는 0.71~0.96)을 나타내어, 온도와 상관없이 탁도가 원생동물 제거의 유용한 지표가 될 수 있음을 보였다.

Table 1. The coefficient (r^2) of regression analysis among the log removal of turbidity, *Cryptosporidium* and *Giardia* at each condition.

Condition	Regression Coefficients (r^2)			Remark
	Turbidity vs <i>Cryptosporidium</i>	Turbidity vs <i>Giardia</i>	<i>Cryptosporidium</i> vs <i>Giardia</i>	
Room Temperature (25°C, pH7-7.6)	0.86 0.89	0.85 0.77	0.97	(%) (Log)
Low Temperature 1 (5°C, pH7-7.6)	0.71 0.92	0.87 0.93	0.87	(%) (Log)
Low Temperature 2 (5°C, pH7-7.6)	0.91 0.91	0.96 0.86	0.95	(%) (Log)

Table 2. Removal of turbidity, *Cryptosporidium*, *Giardia* in 5 NTU sample at each concentration of various coagulants.

Coagulants	Concentration(%) of		Removal of		
	Coagulants	as Al ₂ O ₃	Turbidity	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Giardia</i>
PAC	0	0	8.0	0.8	5.8
	5	0.51	14.0	2.4	10.3
	15	1.53	90.0	87.2	91.1
	25	2.55	92.0	91.2	96.0
	35	3.57	92.0	93.6	96.9
	45	4.59	84.0	97.6	97.8
PACS	0	0	10.0	-19.6	-57.6
	5	0.86	78.0	80.4	61.9
	15	2.57	92.0	96.1	92.4
	25	4.28	96.0	100.0	89.8
	35	5.99	92.0	92.2	89.0
	45	7.70	94.0	98.0	96.6
FeCl ₃	0	-	10.0	-10.2	25.5
	5	-	44.0	64.6	73.8
	15	-	82.0	93.7	98.0
	25	-	92.0	97.6	99.3
	35	-	92.0	100.0	100.0
	45	-	92.0	100.0	100.0

3.2. 응집제 종류의 영향

응집제 종류의 영향을 조사하기 위해 본 실험에서는 국내 정수장에서 널리 쓰이는 폴리염화알루미늄(PAC), 폴리염화알루미늄규산(PACS) 및 염화제이철(FeCl₃ · 6H₂O)를 대상으로 실험하였다.

PAC([Al₂(OH)_nCl_(6-n)]_m)는 응집성능이 매우 좋아 현재 대부분 정수장에서 가장 널리 쓰이는 응집제로 성상은 무색 내지 옅은 황갈색의 투명한 액체이고, PACS는 기존 PAC 응집제를 고농도화 시킨 것으로 Al₂O₃의 농도를 17%로 고농도화 시키고 silicate를 첨가하여 응집성능을 개선한 것이다. 염화제이철은 플

록이 무거워 침강속도가 매우 빠르며, 응집 pH 범위가 넓다는 장점이 있으나, 처리 후 색도가 남으며 부식성이 매우 강하다는 단점이 있다.

응집제 주입량으로 비교하면 PACS가 5mg/L의 낮은 농도에서도 탁도와 원생동물 모두 가장 잘 제거하였고, 세 종류의 응집제 모두 15mg/L 이상의 주입량에서 최적의 제거율을 보였다. 염화제이철의 경우, 고탁도 시료에서는 원생동물의 제거경향이 PACS와 유사하였으며, 저탁도와 고탁도 시료 모두에서 5mg/L의 응집제 주입시 탁도보다 원생동물의 제거율이 더 우수하게 나타나는 특징을 보였다. 정수장에서 가장 널리 사용되는 PAC의 경우, PACS와 비교하여

Table 3. Removal of turbidity, *Cryptosporidium*, *Giardia* in 30 NTU sample at each concentration of various coagulants

Coagulants	Concentration(%) of		Removal of		
	Coagulants	as Al ₂ O ₃	Turbidity	<i>Cryptosporidium</i>	<i>Giardia</i>
PAC	0	0	11.0	1.3	4.8
	5	0.51	49.7	72.4	70.7
	15	1.53	90.7	94.2	98.8
	25	2.55	94.7	99.4	99.4
	35	3.57	95.0	99.4	98.2
	45	4.59	98.0	100.0	99.4
PACS	0	0	13.3	24.7	39.1
	5	0.86	90.0	92.1	94.3
	15	2.57	98.3	100.0	99.3
	25	4.28	98.3	100.0	91.4
	35	5.99	97.7	100.0	98.6
	45	7.70	98.7	100.0	98.9
FeCl ₃	0	-	11.3	-10.9	35.6
	5	-	72.3	89.9	93.2
	15	-	93.3	100.0	99.1
	25	-	97.3	98.4	99.5
	35	-	98.0	100.0	100.0
	45	-	98.3	100.0	100.0

최적의 제거를 위한 응집제 주입량이 더 높았는데, PAC의 경우 응집제 역할을 하는 알루미늄(Al₂O₃) 함량이 10.2%로서 PACS의 17.1%보다 낮으므로 응집제 주입량을 알루미늄 농도로 보정하여 비교하였다. PAC를 사용하였을 경우에는 저탁도 및 고탁도 시료 모두에서(Al₂O₃) 함량이 2.55% 이상에서 최적의 응집침전효율을 나타내었으며, PACS를 사용하였을 경우에도 저탁도 및 고탁도 시료 모두에서(Al₂O₃) 함량이 약 1.5% 이상에서 최적의 응집침전효율에 도달하여 최적 제거율을 나타내는 알루미늄 함량은 유사함을 나타내었다.

또한, 본 실험은 실험간의 오차와 실 응집제 함량을 감안한다면 응집제 종류인 PAC와 PACS, 염화제이철 간의 탁도나 원생동물 제거정도의 차이는 크지 않은 것으로 사료되며, 염화제이철의 경우는 탁도보다 원생동물의 제거가 낮은 응집제 주입량에서도 효과적으로 이루어지는 경향을 나타내었다.

3.3. 전염소 처리의 영향

전염소를 투여하지 않은 반응기와 잔류 농도가 0.7과 3.0mg/L 되도록 염소를 투여한 반응기에 PAC(15 mg/L)를 투여하여 혼화응집 Jar test를 수행하였다.

실험의 재현성을 보기위하여 반복 실험하였다. Jar test 후 잔류염소 농도를 측정된 결과 고탁도 시료는 각각 0, 0.1, 2.0mg/L였고, 저탁도 시료의 경우는 각각 0, 0.3, 2.0mg/L였다.

30NTU의 고탁도 시료에서 잔류염소 처리를 하지 않았을 때의 탁도, 크립토스포리디움 및 지아디아의 제거율은 각각 97.7과 98.4%, 96.6과 99.1%, 97.8과 98.4%를 나타내었다. 0.7ppm의 잔류염소 첨가시료에서는 각각 97.4과 97.9%, 98.6과 99.0%, 99.1과 99.3%를 나타내었으며, 3.0ppm의 잔류염소 첨가시료에서는 각각 97.2과 98.1%, 94.0과 98.8%, 97.7과 99.4%를 나타내어 잔류염소를 첨가하지 않은 시료와 거의 차이를 나타내지 않음을 알 수 있었다(Fig. 3).

5NTU의 저탁도 시료에서도 마찬가지로 잔류염소 처리를 하지 않았을 때의 탁도, 크립토스포리디움 및 지아디아의 제거율이 각각 91.0과 91.2%, 83.5과 90.2%, 91.3과 95.2%를, 0.7ppm의 잔류염소 첨가시료에서는 각각 90.4과 92.2%, 94.4과 94.5%, 93.5과 95.2%를 나타내었으며, 3.0ppm의 잔류염소 첨가시료에서는 각각 90.8과 93.4%, 87.8과 95.3%, 87.0과 95.2%를 나타내어 잔류염소를 첨가하지 않은 시료와 거의 차이를 나타내지 않음을 알 수 있었다. 이것으

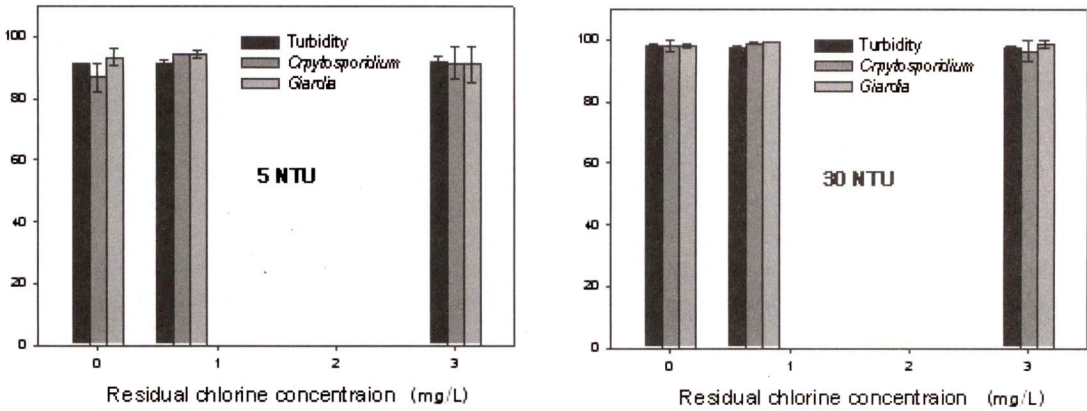


Fig. 3. The effects of prechlorination on the efficiency of coagulation at optimal condition (pH 7.0, 25°C)

로 보아 최적 응집반응 조건(최적 응집제농도, pH, 온도)에서 전염소 처리에 의한 잔류염소의 농도는 혼화응집침전반응시 탁도 및 원생동물의 제거를 저하시키거나 증진시키는 영향이 없거나 미미함으로 판단되었다.

4. 결 론

실험실 jar test에서 온도, 응집제 종류, 전염소 실시 여부가 원생동물과 탁도 제거에 미치는 특성은 다음과 같다.

1. 상온에서 원생동물은 적절한 응집제 농도범위에서 1.0log(90%) 이상 제거되었고, 최적의 상태에서는 2log(99%) 이상까지 제거되어, 혼화응집침전과 여과과정의 지아디아 정수처리목표 1.5log 제거율을 감안한다면 좋은 제거율을 보였으나, 수온이 저하 될 경우 원생동물과 탁도 제거율의 저하와 적정 PAC 농도범위의 축소 현상이 저탁도 시료에서 나타났다. 따라서, 국내 계절과 기후 특성으로 보아 평수기 겨울 조건에 적절한 최적조건을 구하지 않으면 응집효율이 저하될 수 있음을 예측할 수 있다. 한편, 수온에 의한 영향에도 불구하고 탁도와 원생동물제거율 간에는 유의한 상관관계를 보였고, 특히 로그 환산하였을 때 상관관계가 증진하였다. 따라서 정수장에서는 탁도를 지표로 하여 겨울에도 최적의 혼화응집침전조건을 도출하여 운영할 수 있을 것이다.

2. 국내정수장에서 널리 쓰이는 폴리염화알루미늄

(PAC), 폴리염화알루미늄규산(PACS) 및 염화제이철을 대상으로 응집제 종류에 따른 제거율의 차이를 조사하였을 때 실험 간의 오차와 실 응집제 함량을 감안한다면, 지표로 사용한 탁도나 제거 목표가 되는 원생동물 제거정도의 차이는 응집제 종류 간에 크지 않은 것으로 사료되며, 염화제이철의 경우는 탁도 보다 원생동물의 제거가 낮은 응집제 주입량에서도 효과적으로 이루어지는 경향을 나타내었다.

3. 전염소 처리는 최적 혼화응집 조건(상온, pH 7, PAC 15mg/L)일 경우 고탁도 및 저탁도 시료 모두에서 탁도 및 원생동물의 제거를 증진 또는 저하시키지 않는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 박상정, 조민, 윤재용, 전용성, 임연택, 진익렬, 정현미. (2006) 크립토스포리디움의 활성/감염성 판별법을 이용한 오존 및 자외선 소독능 평가. *생명과학회지*, 16(3), pp. 534-539.
2. 정현미, 박상정 (2006) 원수탁도와 pH 변화가 혼화응집 침전 과정에서 원생동물과 탁질 제거에 미치는 영향. *상하수도학회지*, 20(1), pp. 71-78.
3. 정현미, 박상정, 정원화, 정영희, 김대균, 박준수, 오상현, 장영진, 김은정 (2002) 정수장의 원생동물 시스템 제어 연구(I). 국립환경연구원.
4. 환경부. 2004. *수처리제의기준과규격및표시기준*.
5. Betancourt W.Q., and J.B. Rose (2004) Drinking water treatment processes for removal of *Cryptosporidium* and *Giardia*, *Veterinary Parasitology*, 126(1-2), pp. 219-234.
6. Dugan, N.R., K.R. Fox, J.H. Owens and R.J. Miltner (2001)

- Controlling *Cryptosporidium* oocysts using conventional filtration, *J. AWWA* **93**, pp. 64-77.
7. Emelko, M.B. (2003) Removal of viable and inactivated *Cryptosporidium* by dual- and Tri-media filtration, **37**(12), pp. 2998-3008.
 8. Ongerth, J.E., and J.P. Pecoraro (1996) Electrophoretic mobility of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts. *J Environ Eng-ASCE* **122**(3), pp. 228-231.
 9. Rice, E.W., K.R. Fox, D.A. Lytle and C.H. Johnson (1996) Evaluating plant performance with endospores, *J. AWWA* **88**(9), pp. 122-130.
 10. USEPA 1989 (June 29). National Primary Drinking Water Regulations, part II: Filtration, Disinfection; Turbidity, *Giardia lamblia*, Viruses, *Legionella*, and Heterotrophic Bacteria. Final Rule, 40 CFR parts 141 and 142. *Fed. Reg.*, **54**(124), pp. 27486-27541.
 11. WHO (2002) Guidelines for drinking water quality 2nd edition. Addendum - Microbiological agents in drinking water.
 12. USEPA (2006) National Primary Drinking Water Regulations; Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule, 40 CFR Parts 9, 141 & 142.