

## 응집제주입에 의한 급속모래여과에서 초기유출수의 수질향상

김 우 항 · 전 지 훈  
목포해양대학교 해양시스템공학부  
(2005년 8월 10일 접수; 2006년 2월 23일 채택)

### Improving the Initial Effluent Water Quality of Rapid Sand Filter by Coagulants Injection

Woo-Hang Kim and Ji-Hoon Jeon

Faculty of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University, Chonnam 530-729, Korea  
(Manuscript received 10 August, 2005; accepted 23 February, 2006)

The purpose of this research was to investigate the efficiency of coagulants dose after backwashing.

The turbidity of initial effluent was high after backwashing in the rapid sand filtration and the high turbidity was almost removed by coagulants dose into filter-sand after backwashing. It was found that the turbidity of initial effluent was well removed by all kinds of the coagulants used in this study.

When filtration was performed input water with differentiated pH's, the turbidity of effluent was low at the range of pH 5 - pH 7. But the removal was not good about over pH 9. This result was considered into the existence forms of aluminium,  $Al(OH)_2^+$  and  $Al(OH)_3^+$  at pH 5.

Cryptosporidiums of effluent were 4/ml for ten minutes immediately after back washing and 3/ml until sixty minutes. However, the case of coagulant dose after backwashing, Cryptosporidiums of effluent were 0.5/ml for ten minutes with no detection after twenty minutes.

Key Words : Sand filtration, Turbidity, Backwashing, Aluminum, Coagulant

#### 1. 서 론

급속모래여과 공정을 사용하는 정수처리에서 여과 공정은 응집, 침전공정에서 제거되지 않은 부유 물질을 제거하는 기능을 하고 있다. 그러나 여과지에서 여과 작용이 불충분할 경우 *Cryptosporidium* (2~8 $\mu$ m), *Giardia*(5~10 $\mu$ m) 등의 병원성 미생물<sup>1,2)</sup>이 유출되어 인체에 치명적인 해를 줄 수 있는 것으로 보고되고 있다.

급속여과지는 정수 과정에서 현탁 물질을 제거하는 최종 단계이다. 따라서 수질의 안전성을 확보하기 위해 유입되는 탁도 물질을 충분히 억류할 수 있는 기능이 있어야 하며 예상되는 수질과 수질의 변동에 대한 충분한 완충능력이 있어야 한다.

급속여과에서는 반드시 응집공정이 포함되어 있

으며 응집, 침전을 통하여 탁질을 제거하고 있으나 제거되지 않은 탁질은 급속여과에서 처리하고 있다. 그러므로 급속여과는 시간이 경과하면서 손실수두가 커지고, 처리수의 탁도가 높아져서 수질이 악화되면 역세척을 행하게 된다. 정수 공정에서 역세척은 정수의 결과에 직접적인 영향을 미치는 매우 중요한 공정이자 여과지의 기능을 재생하는 과정으로 주요 공정의 하나이다. 그러나 역세척 직후에 처리수의 탁도가 높게 나타나고 있으며 이것은 여과지의 기공에 쌓여있던 탁질이 없어지면서 체거름 효과가 낮아진 것에서 나타나는 현상이다. 이러한 현상은 역세척 직후에 반드시 나타나는 현상으로 정수수질을 악화시키므로 수질을 향상시키는 대책이 필요하다고 할 수 있다. 이러한 대책으로 모래와 탁질이 가지고 있는 전기적인 성질을 이용하면 수질을 향상시키는 것이 가능하다. 탁질과 여과사로 사용되는 모래의 표면은 전기적으로 (-)전하<sup>3,4)</sup>를 띠고 있어 서로의 반발력에 의하여 제거가 어려운 것으

Corresponding Author : Woo-Hang Kim, Faculty of Ocean System Engineering, Mokpo National Maritime University, Chonnam 530-729, Korea  
Phone: +82-61-240-7284  
E-mail: whkim@mmu.ac.kr

로 알려지고 있다. 이러한 성질을 이용하여 여과사의 표면을 (+)전하로 바꾸어줌으로서 탁질과 모래사이에 인력이 작용하게 되고 이러한 인력은 탁질 입자들이 역세척의 초기에도 제거가 가능한 것으로 알려지고 있다<sup>5~8)</sup>. 또한 모래여과를 이용한 중금속의 제거연구<sup>9)</sup>나 모래의 표면을 철을 이용하여 표면처리한 후 세레늄<sup>10)</sup>의 제거에 관한 연구들이 진행되고 있다. 모래표면의 정기적인 성질을 변화시키는 것으로 응집제를 주입하면 여과사의 표면을 (+)전하로 변화시킬 수 있어 탁도의 제거율이 향상되어진다고 할 수 있다. 그러나 미생물이 유입되는 경우 역세척후 제거 가능성에 대한 연구는 거의 없는 실정이다.

그러므로 본 연구는 기존 정수처리시설의 여과공정의 효율을 향상시키기 위하여 여러 종류의 응집제를 역세척 직후 여과사에 주입하고 역세척 직후 탁도의 제거율을 조사하였다. 또한 pH의 변화에 따른 탁도의 제거율을 비교하여 pH에 따른 탁도의 제거효율에 미치는 영향을 평가하였으며 모의 *Cryptosporidium*을 사용하여 역세척 직후에 유입되는 경우 제거되는지를 알아보는 것을 목적으로 하였다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험장치

본 실험에서는 직경이 7.4cm이고 높이가 150cm인 여과탑에 유효경 0.45 균등계수가 1.7, 비중이 2.6인 모래를 70cm로 충전하였다. 모래를 여과탑에 충전 후 물을 사용하여 여재를 충분히 팽창시키면서 1일 역세척(팽창율 30-35% 유속 150m/d)하여 완전히 성층화 시킨 다음 실험에 임했다. 원수는 수돗물

을 사용하였고 수돗물 탁도는 7-8NTU, 여과 속도는 150m/d로 하였다. 각 응집제는 여과 개시 전에 여층의 상부로부터 통과시켜 여재를 피복하였다.

실험에 사용된 급속모래여과 실험장치는 Fig. 1에 나타내었다. 여과칼럼은 상부의 여과지와 하부집수장치로 나눌 수 있다. 직경 7.4cm의 원통형 아크릴로 제작된 여과지는 높이 150cm로서 상단부위에 원수 유입을 위한 직경 5mm의 유입구를 설치하였다. 하부집수장치는 여과수를 유출하는 유출구와 같은 크기의 역세수 유입구를 설치하였다.

### 2.2. 실험방법

급속모래여과에서 역세척 직후 초기 유출수의 탁도 변화를 알아보기 위하여 역세척시 팽창비율을 30-35%정도로 유지하였으며, 역세척 직후 칼럼에 수돗물과 카올린을 주입하여 여과속도 150m/d로 여과를 실시한 후 유출수의 탁도를 측정하였다. 여과지 유출수 탁도는 초기 30분 동안 5분 단위로 채취하고 그 이후는 30분 간격으로 채취하여 총 3시간 동안 측정하였다. 역세척 직후 탁도는 역세척수가 관 말단에 나오는 시간으로부터 5분 경과 후 그 시점을 0으로 하여 이를 측정하였다. 탁도는 HACH사의 Turbidity meter(Pocket Turbidimeter)를 사용하여 측정하였다.

역세척 직후에 응집제를 여층의 상부로부터 통과시킨 후 유입수를 흘려보냈다. 각 응집제(PAC, 황산알루미늄, 황산제1철, 염화제2철)는 농도 100 ppm으로 하여 3ℓ를 주입하였으며, 여과속도는 150m/d, 탁도는 7-8NTU로 조절하여 실험하였다. 실험에서 응집제를 용해시킨 용액 3ℓ를 주입한 이후 유입 후 유출되지 않는 최대의 양을 주입하여 실험을 실시하였다. 실험은 초기 유출수 탁도의 변

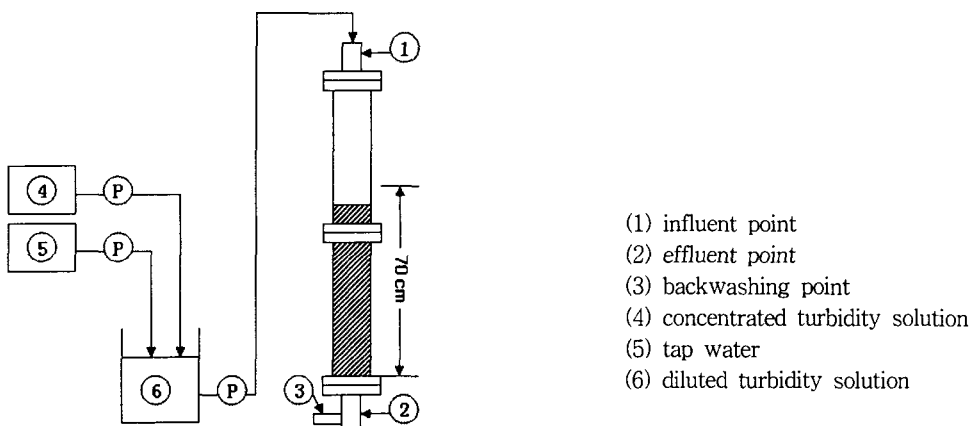


Fig. 1. Schematic of pilot plant for rapid sand filtration.

화가 일어나는지를 알아보기 위해 3시간 동안 실험 하였으며 응집제별 제거효율을 비교하였다.

pH에 따라 알루미늄의 존재 형태가 다르므로 pH의 변화에 따른 초기 유출수 탁도의 변화 실험을 실시하였다. 본 실험에서는 황산과 수산화나트륨을 이용하여 pH3, pH5, pH7, pH9로 조정하여 각각의 pH별로 응집제의 탁도 제거 효율을 알아보았다. 실험에 사용된 응집제는 황산알루미늄을 사용하였다.

역세척후 황산알루미늄 300 mg을 여층의 상부로부터 통과시킨 후 유입수에 *Cryptosporidium* tracer(일본수도협회) 입자수가  $10^5$ 개/L가 되도록 첨가하여 여과속도를 150m/d로 여과를 실시하였다. 역세척후 일정간격으로 유출수를 채취하여 100ml를 25 mmφ polycarbonate filter를 사용하여 여과하였으며 여과한 필터를 슬라이드글라스로 옮겨 형광현미경을 사용하여 계수하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. 역세척후 유출수 탁도의 변화

본 실험은 급속모래여과에서 역세척 직후 유출수 탁도 변화를 Fig. 2에 나타내었다. 실험 결과 역세척 직후 초기 유출수의 탁도는 비교적 높게 나타나 시간이 지날수록 점점 안정화되어 탁도값이 일정한 경향을 보이는 것을 알 수 있었다. 시간이 지날수록 유출수의 탁도가 안정화되는 것은 공극보다 큰 콜로이드 입자들이 차츰 쌓이기 시작하고 그때부터 체거름 효과가 높아졌기 때문이다. 이것은 역세척으로 인하여 여과사의 상부에 존재하고 있던 콜로이드와 부유물질이 여과탑 밖으로 유출되어 여과사층의 상부에서 체거름 효과가 낮아졌기 때문이다.

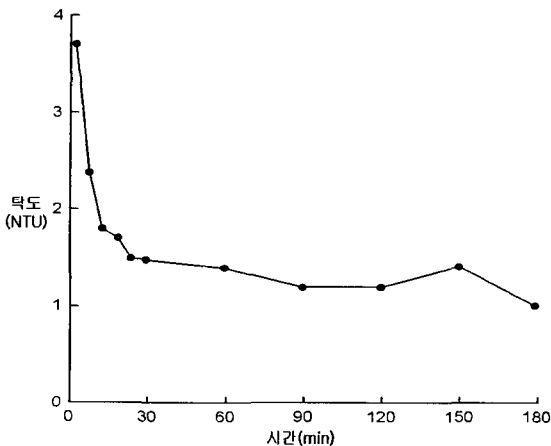


Fig. 2. Change of the effluent turbidity after backwashing.

#### 3.2. 응집제 주입시 초기 유출수의 변화

본 실험에서는 역세척 후 높게 나타나던 초기 유출수의 탁도가 응집제를 주입한 후 나타나는 변화를 관찰하였다. 정수 처리에 많이 이용되고 있는 PAC를 피복함으로써 응집제 주입후 초기 유출수의 변화를 알아보았다. Fig. 3은 PAC 피복후 유출수의 탁도 변화를 나타내고 있다.

수중에 존재하는 콜로이드의 표면은 일반적으로 (-)전하로 대전되어 있어, 여제의 표면이(-)전하로 대전되어 있을 경우 작은 입자들은 제거되지 않고 유출될 가능성이 높다. 실제 정수처리의 급속모래여과에서 역세척 직후 탁도의 제거율이 낮고 시간이 경과하면서 제거율이 높게 나타나는 것을 보면 알 수 있듯이 역세척 후 초기에는 탁도 성분들이 많이 유출되고 있다. 그러나 PAC를 피복한 후에는 초기의 탁도 제거율이 매우 향상되는 것으로 나타나고 있다.

여과사를 PAC로 피복하지 않은 경우와 피복한 후 유출수의 탁도 변화를 비교해 보면 초기에는 탁도제거율이 높게 나타나고 있는 것으로 보아 PAC로 여과사를 피복할 경우 초기에 높게 유출되는 탁도를 방지하는 것이 가능하다는 것을 보여주고 있다. 즉 응집제를 주입함으로써 초기 유출수 탁도를 제거할 수 있다.

#### 3.3. 각 응집제별 유출수 변화

각 응집제(PAC, 황산알루미늄, 황산제1철, 염화제2철)를 여과사에 피복한 후 유출수 탁도 변화를 살펴본 결과 탁도가 낮아짐을 알 수 있었다. Fig. 4에서는 각 응집제를 피복한 후의 탁도 변화를 나타내었다.

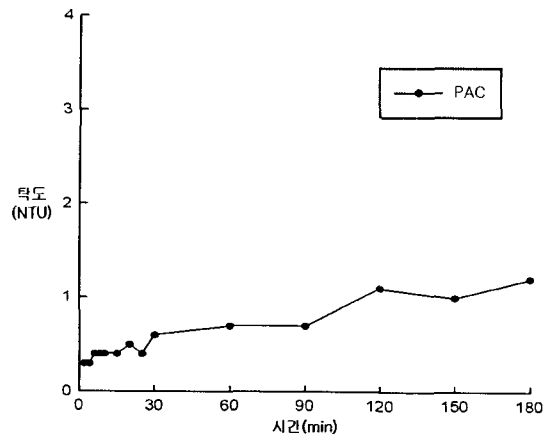


Fig. 3. Effects of Polyaluminium Chloride(PAC) injection at the start of a filter run on filter effluent.

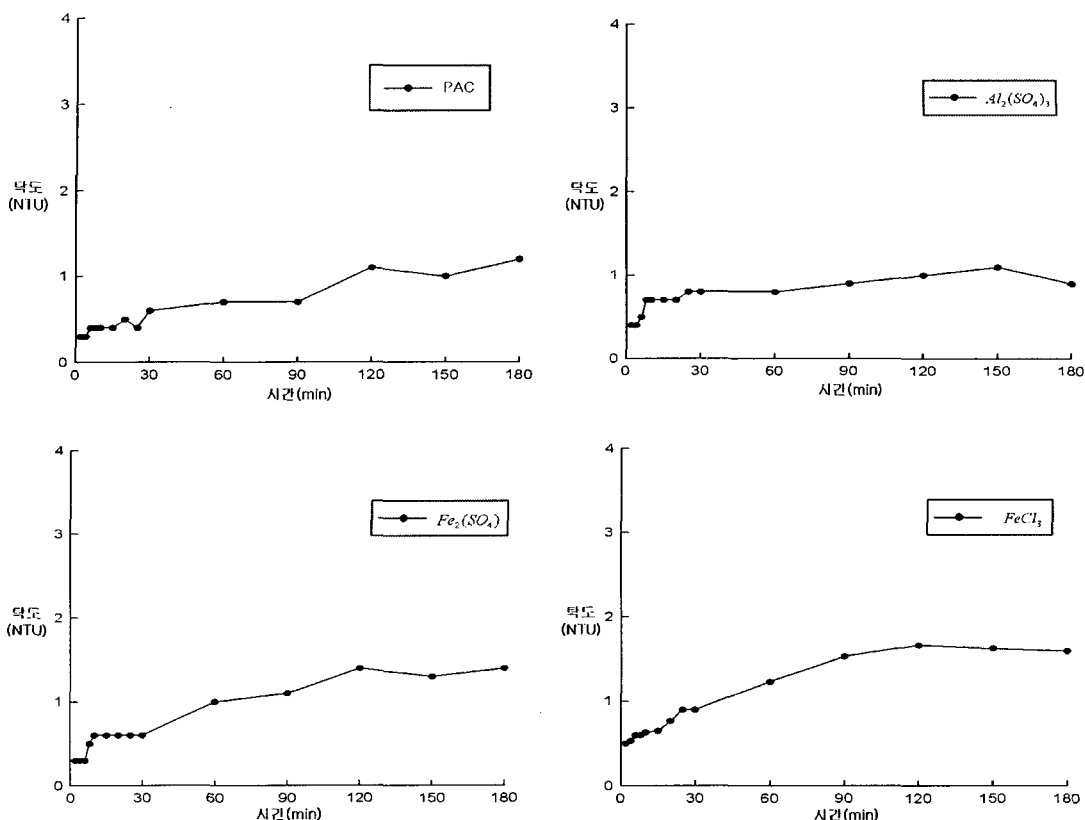


Fig. 4. Effect of the effluent turbidity by various coagulants injection.

각각의 응집제 별로 보았을 경우 초기의 탁도는 비슷한 경향을 나타내고 있고 일정시간 경과 후 응집제의 효능을 잃어 가는 시점이 차이가 있으나 초기에 높게 나타났던 탁도는 거의 제거가 됨을 알 수 있었다. 또한 일정시간(2시간정도)이 경과한 후에는 응집제 주입전과 주입후 탁도 제거율 면에서 특별한 경향을 보이지 않음을 알 수 있었다.

모래는 역세척에 의해 작은 입자들은 상층부로 큰 입자들은 하층부로 이동하게 되어 입자들의 비표면적이 상층부가 하층부 보다 크게 되어 zeta전위도 상층부에서 더 강한 (-)전하를 띠는 것으로 알려지고 있으며 각각의 응집제 주입 후 zeta전하가 (-)전하에서 (+)전하로 변화함으로써 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다.

### 3.4. 황산알루미늄의 pH변화에 따른 초기 유출수의 변화

황산알루미늄 주성분으로 있는 알루미늄 가수분해 핵종은 용액의 pH에 따라서 변화하므로 여층에 존재하는 형태는 달라진다. 이에 pH의 변화에 따른 응집효과를 비교하기 위해 pH를 pH3, pH5, pH7,

pH9 4단계로 하여 실험을 실시하였다. Fig. 5에서는 황산알루미늄의 pH변화에 따른 초기 유출수의 변화를 나타내었다.

황산알루미늄의 응집 효율을 비교해 본 결과 모든 pH에서 낮은 초기 탁도를 나타내고 pH 5와 pH 7에서 보다 낮은 탁도의 수질을 얻을 수 있었다. Sullivan등이 pH에 따른 존재비를 나타낸 것에 따르면 pH 5부근에서 알루미늄의 존재 형태가  $Al(OH)^{2+}$ ,  $Al(OH)_2^+$ 로 많이 존재하고 있으며 또한 pH 7에서는  $Al(OH)_3$ 로 많이 존재하는 것으로 나타났다. 그러므로 pH 5와 pH 7에서는 모래 표면의 (-)전하를 감소시킬 수 있었던 것으로 판단되므로 초기의 유출수 탁도가 다른 pH에서 보다 낮게 나타난 것으로 생각할 수 있다. 그러나 pH 3에서 초기 유출수가 낮게 나타난 것은 알루미늄을 주입 직후 유입수를 흘려 보내어 알루미늄용액이 중화되면서 pH가 상승하여 모래 표면의 (-)전하를 감소시킨 결과로 판단된다.

실제 pH 3으로 주입된 곳에서의 유출수의 pH를 측정된 결과 초기에는 pH가 5.9로 나타났으며 6시

응집제주입에 의한 급속모래여과에서 초기유출수의 수질향상

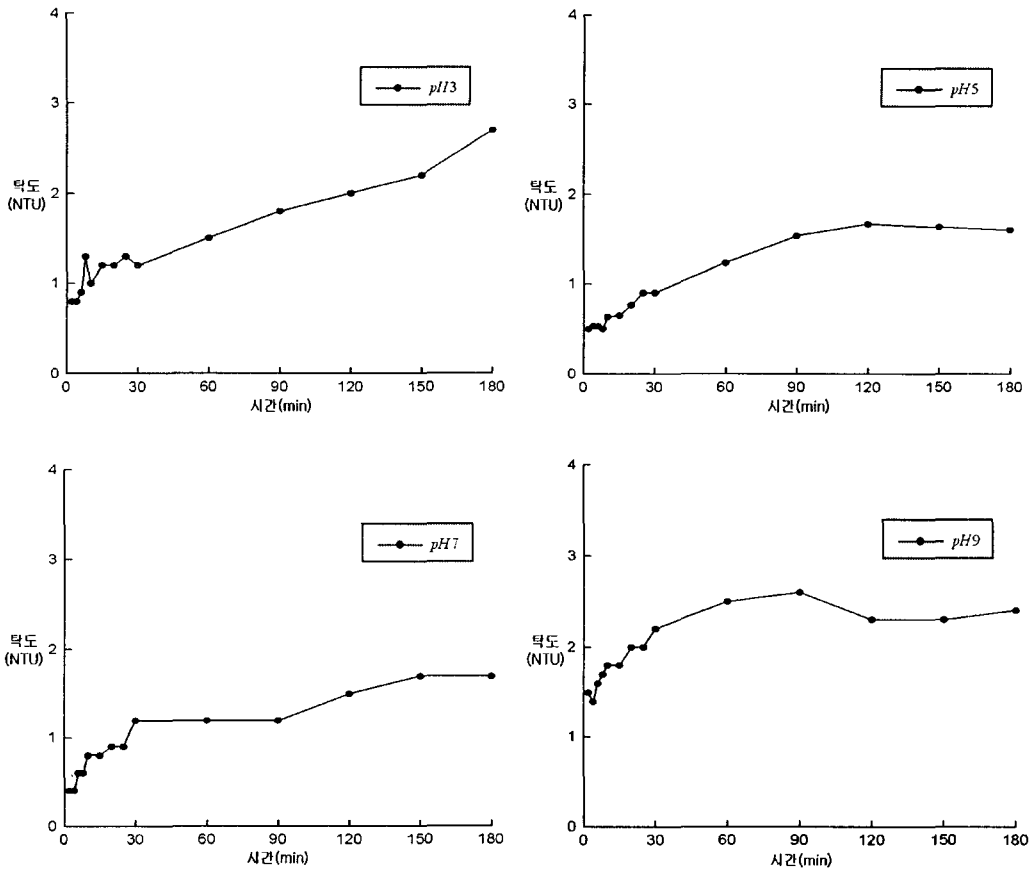


Fig. 5. Effect of the effluent turbidity with alum injection at the various pH.

간 이후에는 pH 5.4로 나타났다. 그러므로 실제 유입된 pH보다 매우 높아져서 위에서 설명한 결과와 같은 결과를 나타내었다고 할 수 있다. 그러나 pH 9로 유입된 곳에서는 초기의 pH가 7.8로 나타났으며 6시간 이후에는 8.5로 나타났다. 그러므로 pH 9로 유입된 곳에서는 초기에 탁도가 높게 나타난 것으로 판단된다.

3.5. *Cryptosporidium*의 제거율 비교

역세척 직후 황산알루미늄으로 피복한 다음 *Cryptosporidium*이 포함된 유입수를 사용하여 여과를 실시한 결과 유출수의 *Cryptosporidium*수는 약 10분까지는 0.5/ml로 나타났으며 그 이후에는 거의 유출되지 않았다. 그러나 피복하지 않은 상태의 급속 모래여과에서는 초기 약 10에서는 약 7/ml까지 높게 유출되기도 하였으나 10분이 경과한 이후에는 평균 3/ml로서 약간 낮아졌으나 계속해서 유출되는 것으로 나타났다. 이 결과는 병원성 미생물이 유입되는 경우 응집제로 피복한 모래여과에서는 거의 제거가 가능하다고 할 수 있다.

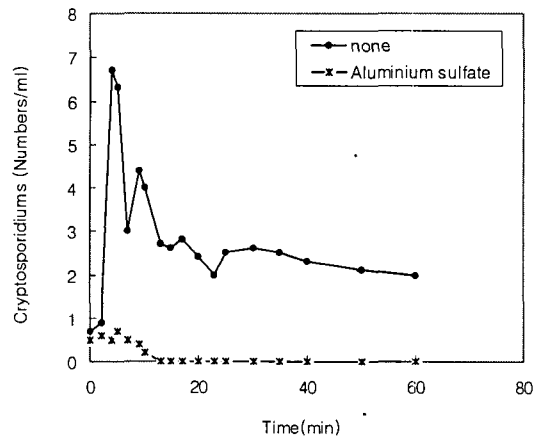


Fig. 6. Comparison of *Cryptosporidium* removal between aluminium sulfate coating and none in rapid sand filtration.

5. 결 론

급속모래여과에서 초기 유출수의 탁도를 제거하

기 위하여 역세척 직후 응집제를 여과사에 주입하고 실험한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 급속모래여과에서 역세척후 초기 유출수 탁도가 높게 나타났다. 이것은 역세척으로 인하여 여과사의 체거름 효과가 낮아졌기 때문이다.

2) 역세척 후 응집제를 여과사에 주입한 후 여과를 실시한 결과 초기에 높게 나타났던 탁도는 거의 제거되는 것을 알 수 있으며, 실험에 사용한 응집제에서 응집제별 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

3) 황산알루미늄의 pH를 변화시켜 여과사에 주입하고 여과를 실시한 결과 모든 pH에서 낮은 초기 탁도를 나타내고 pH 5와 pH 7에서 보다 낮은 탁도의 수질을 얻을 수 있었다. pH 5부근에서 알루미늄의 존재형태가  $Al(OH)^{2+}$ ,  $Al(OH)_2^+$ 로 존재하고 pH 7에서는  $Al(OH)_3$ 으로 존재하기 때문인 것으로 나타났다. 그러므로 pH5와 pH7에서는 모래 표면의 (-)전하를 감소시킬 수 있어 다른 pH에서 보다 낮게 나타난 것으로 생각할 수 있다. 그러나 pH 3에서 초기 유출수가 낮게 나타난 것은 알루미늄을 주입 직후 유입수를 흘려보내어 알루미늄용액이 중성으로 바뀌어 역시 모래 표면의 (-)전하를 감소시킨 결과로 판단된다.

4) 역세척 직후 황산알루미늄으로 피복한 다음 *Cryptosporidium*이 포함된 유입수를 사용하여 여과를 실시한 결과 유출수의 *Cryptosporidium*수는 약 10분까지는 0.5/ml로 나타났으며 그 이후에는 거의 유출되지 않았다. 그러나 피복하지 않은 상태의 급속모래여과에서는 초기 약 10분에서는 7/ml까지 높게 유출되기도 하였으나 10분이 경과한 이후에는 약 3/ml로서 약간 낮아졌으나 계속해서 유출되는 것으로 나타났다.

## 참 고 문 헌

- 1) USEPA, 1998, Surveillance for waterborne-disease outbreaks-United States.
- 2) 이목영, 1999, 수인성 질병의 원인 원생동물 해부, 수자원환경 121, pp.50-58.
- 3) 丹保憲仁, 小笠原 紘一, 1997, 淨水の技術, 技報堂出版, pp.45-47.
- 4) Amirtharajah, A., 1985, The interface between filtration and backwashing, Wat. Res., 19(5), 551-588.
- 5) Kelly, O. C. and A. Amirtharajah, 1987, Improving the initial effluent quality of a dual-media filter by coagulants in backwash, Journal AWWA, 79(12), 50-63.
- 6) Yapijakis, C. and D. Filtration, 1982, Polymer in Backwash Serves Dual Purpose, AWWA, 74(8), 426-428.
- 7) 今野弘, 藤非正春, 1985, 急速ろ過の付着過程と水酸化アルミニウムの役割, 水, 27(5), 63-69.
- 8) 윤태한, 김우향, 2002, 급속모래여과에서 PAC피복에 의한 초기유출수 개선, 한국물환경학회, 18(3), 253-260.
- 9) 신용일, 박상원, 1999, Surface Complexation Model을 이용한 양이온 중금속(Pb, Cd) 흡착반응의 모델화 연구, 한국환경과학회지, 8(2), 211-219.
- 10) 박상원, 강혜정, 1999, 표면 처리한 Sea sand를 이용한 Se(IV) 제거 -Zeta potential을 통한 Fe(III)간의 반응 메카니즘 연구-, 한국환경과학회지, 8(2), 205-209.