

# Starvation전 제올라이트 및 입상활성탄의 주입이 슬러지 침강성 및 오염물질 처리효율 회복에 미치는 영향

## Effectiveness of Zeolite and Granular Activated Carbon Addition before Starvation for the Performance Recovering of the Sludge Settleability and Removal Efficiency

오혜란 · 김상수 · 문병현 · 윤조희\*<sup>†</sup>

Hye-Ran Oh · Sang-Soo Kim · Byung-Hyun Moon · Cho-Hee Yoon\*<sup>†</sup>

창원대학교 환경공학과 · \*경남대학교 환경공학과

Department of Environmental Engineering, Changwon National University

\*Department of Environmental Engineering, Kyungnam Univeristy

(2010년 1월 16일 접수, 2010년 2월 8일 채택)

**Abstract :** The effectiveness of adding powdered zeolite and granular activated carbon (GAC) before starvation into biological reactor for recovering its performances was investigated. Two types of carrier addition in Sequencing Batch Reactor (SBR) system for non-saline and saline wastewater were evaluated after starvation periods. During the experiment, settleability (SVI), floc size, fractal dimension, COD<sub>Mn</sub>, T-N, T-P removal efficiencies and recovery time were monitored. When the wastewater feeding was resumed after starvation period for 5days, the SVI increased at the beginning of resumption and then decreased with time in both types. And the larger the floc size and fractal dimension of floc, the more increased removal efficiency for COD<sub>Mn</sub>, T-N and T-P was also. Its performance recovery was strongly correlated with floc size and fractal dimension of activated sludge. After resuming the wastewater feeding, the SVI, floc size, fractal dimension, COD<sub>Mn</sub>, T-N, T-P removal efficiency of SBR with carrier improved and reached its initial value faster compared to those of SBR without carrier.

**Key Words :** Starvation, Zeolite/GAC, Recovery period, Floc size, Fractal dimension, SVI, Pollutant removal efficiency

**요약 :** SBR시스템을 이용한 비염분 폐수와 염분 폐수의 생물학적 처리 시 starvation이전 제올라이트 및 입상활성탄 주입이 starvation 이후 시스템의 재가동시 시스템의 성능회복에 대해 조사하였다. Starvation 이후 시스템의 재가동시, SVI, floc의 크기, fractal dimension, 유기물 지표인 COD<sub>Mn</sub>과 T-N, T-P의 처리효율에 미치는 영향을 알아보고 회복 기간을 도출하고자 하였다. 5일 동안 starvation 후 재가동하였을 때에 초기의 SVI는 증가하였으나 시간이 경과함에 따라 감소하였다. 또한 floc 크기 및 fractal dimension이 클수록, 유기물, T-N 및 T-P 처리효율도 증가하였다. 시스템의 성능회복은 floc 크기 및 fractal dimension에 상관성을 가지고 있었다. Starvation 이후 재가동시 오염물질(COD<sub>Mn</sub>, T-N, T-P) 처리효율이 정상상태로 회복하는데 필요한 시간은 담체 주입이 미주입보다 더 짧은 시간이 소요되었다.

**주제어 :** 기근, 제올라이트/활성탄, 회복기간, 플럭 크기, 플렉탈 차원, SVI, 오염물질 처리효율

## 1. 서 론

위락시설, 관광지, 쇼핑센터 등에서 발생하는 폐수는 주말과 평일, 비수기와 성수기에 따라 폐수 발생 양상이 다르다. 특히, 주말에만 주로 폐수가 발생하는 경마장, 원료 물질이 공급되어 조업이 이루어지는 시간에만 폐수가 발생하는 수산물 및 식품 가공업체 등의 폐수처리장은 일시적 또는 장기적으로 폐수의 유입이 중단되는 상황이 발생하여 폐수처리 시설의 운전이 어려움을 주고 있다<sup>1)</sup>. 또한 활성슬러지 공법

과 같은 생물학적 처리 시 폐수의 갑작스런 유입 중단 상황이 발생하게 되면 기질결핍 상태로 인하여 미생물의 활성 저하 및 사멸로 인하여, 미생물의 양이 감소하고 슬러지 floc의 크기 및 형태특성이 변화하여 슬러지의 침강특성이 악화된다. 뿐만 아니라 오염물질 처리효율이 급격히 감소하고 폐수의 재유입 시 회복하는데 많은 시일이 걸리게 된다. 따라서, 이러한 상태의 폐수를 처리하는 생물학적 폐수처리시설에서는 폐수 유입중단(이하 starvation) 이후, 폐수 재유입으로 인한 미생물에 대한 충격부하를 경감하고 또한 회복

<sup>†</sup>Corresponding author : E-mail : chyoon@kyungnam.ac.kr Tel : 055-249-2663 Fax : 055-249-2244

시간 시간을 단축시킬 수 있는 처리 및 운전방법에 대한 연구가 시급한 실정이다. 특히 처리수질과 밀접한 관계가 있는 슬러지의 침강성 즉 고액분리에서 슬러지를 구성하는 floc의 크기 및 형태에 대한 연구가 필요하다.

최근에 생물학적 처리에서 충격 부하 발생 시 완충효과를 얻기 위한 방법 중의 하나로 담체를 주입한 연구들로, 제올라이트 주입에 따른 오염물질 처리효율변화<sup>2)</sup>와 여러 담체 효율 비교,<sup>3)</sup> 미생물 특성<sup>4)</sup> 등 많은 연구가 진행되고 있으나, 대부분 정상상태에서 처리효율을 높이기 위한 연구들이 주를 이루었다. 그러나 담체 주입이 폐수 유입중단 상황 후 반응기의 재가동시 floc의 형태 및 오염물질 회복 시간에 미치는 영향에 관한 연구는 미진한 실정이다. 특히 처리수질과 밀접한 관계가 있는 슬러지의 침강성 즉 고액분리와 관련이 높은 슬러지를 구성하는 floc의 크기 및 형태에 대한 연구가 필요하나, 이에 대한 연구는 아직도 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 일반폐수 (이하 비염분 폐수)와 염분이 함유된 폐수 (이하 염분 폐수)를 정상적으로 처리하는 활성슬러지를 대상으로 starvation이전 첨가된 담체가 starvation이후 처리공정의 성능회복에 미치는 영향을 알아보고자, 담체로 각각 제올라이트와 입상활성탄을 주입하여 일정기간 starvation 후, 폐수 재유입/재가동 시에 floc의 크기 및 fractal dimension과 SVI변화, 그리고 오염물질 처리효율 등을 실험실 규모의 SBR을 이용하여 조사하였다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 실험장치 및 운전

실험장치는 전체 용적 20 L (유효용적 10 L)의 직육면체 (200 mm×200 mm×500 mm) 형태의 용기에 중앙에 패들형 교반기를 설치한 연속회분식 반응기(SBR)를 아크릴판으로 4개 제작하여 사용하였다. 반응기내 용존산소(DO) 농도 유지는 하부에 설치한 산기관을 통하여 공급하고 3~4 mg/L가 되도록 조절하였다. HRT 및 SRT는 각각 20시간 및 10일, 온도는 상온으로 설정하였고, 반응기내 MLSS는 3,500~4,000 mg/L로 유지하였다. F/M비는 0.17 kgCODMn/kgMLSS·d로 운전하였다. 운전 조건은 한 cycle을 12시간으로 하여 하루에 2 cycle이 반복 되도록 운전 하였다. 1 cycle의 운전 모드는 유입 5분, 교반 5.5시간, 교반과 폭기 5.5시간, 침전 1시간, 배출 5분으로 설정하였다. 본 연구에 사용된 초기 슬러지는 염분 폐수의 경우 수산물 가공업체 처리장과 비염분 폐수의 경우 하수처리장의 반응 슬러지를 사용하였다.

### 2.2. 실험방법

본 연구에 사용된 대상 폐수는 문헌을 참고하여 제조하였다.<sup>5)</sup> 비염분 폐수의 오염물질 농도는 CODCr 1,000~1,200 mg/L, CODMn 500~600 mg/L이고, T-N은 300~350 mg/L, T-P는 15~20 mg/L이다. 염분 폐수는 비염분 폐수에 NaCl 10,000 mg/L이 포함되게 제조 하여 사용하였다. 실험은 SRT 조절을 위해 인발하는 잉여슬러지를 이용하였다. Starvation(5일간) 직후에 제올라이트 및 입상활성탄을 주입한 후 폭기 및 교반을 모두 실시하지 않았다. 운전기간 동안 분석항목은 SVI, floc 크기 및 fractal dimension, COD<sub>Mn</sub>, T-N, T-P를 측정하였다. SVI, COD<sub>Mn</sub>, T-N, T-P는 수질오염공정시험법에 따라 수행하였다. 염분폐수는 COD<sub>Mn</sub> 측정 시 AgSO<sub>4</sub>를 충분히 넣어 염분 농도에 의한 방해를 보정하였다. Floc 크기 및 fractal dimension 값은 입도분석기(Mastersizer-E model, Malvern, Co. Ltd)를 이용하여 SALLS 방법을 적용하여 분석 하였다.<sup>5)</sup>

### 2.3. 제올라이트 및 입상활성탄

본 연구에 사용된 제올라이트는 국산 제품(Y 화학(주) 제공, 경북 포항)으로 각 성분함량은 SiO<sub>2</sub> 68~72%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 9~14%, MgO 2% 이상, CaO, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>가 각각 3% 이상, Na<sub>2</sub>O가 4% 이상 함유되어 있다. 슬러지 내의 floc의 크기를 고려해 100~200 μm 범위의 제올라이트를 체로 걸러 선별하여 사용하였다. 입상활성탄은 아자계 국산 활성탄(삼천리 활성탄소(주)) 제품으로 분쇄하여 체로 걸러 100~200 μm 범위의 활성탄을 사용하였다. 담체의 주입은 기질의 유입이 중단됨과 동시에 반응기 내에 1,000 mg/L의 제올라이트와 입상 활성탄을 주입하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. Starvation 후 담체 주입이 SVI의 회복에 미치는 영향

염분 및 비염분 폐수를 대상으로 담체인 제올라이트 및 입상활성탄을 주입 하였을 때 starvation 전후의 SVI의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에 나타낸 바와 같이 starvation 이전의 SVI는 비염분 폐수의 경우 평균 107 mL/g(이하 단위 생략함)이고 염분 폐수의 경우 평균 113으로 염분 폐수의 SVI가 더 높게 나타났다. Starvation 시작과 동시에 담체인 제올라이트 및 입상활성탄을 주입하여 5일간 starvation후에 SVI는 비염분 폐수의 경우 107에서 각각 110과 120으로,

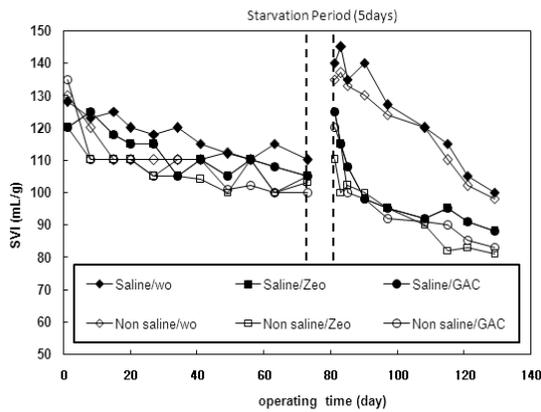


Fig. 1. Effect of starvation on the sludge settleability with zeolite and GAC

염분 폐수의 경우 113에서 각각 120과 125로 증가하였다. 담체를 주입하지 않은 대조군의 반응조의 비염분 및 염분 폐수의 SVI는 각각 105에서 135로, 110에서 140으로 담체를 주입한 경우 보다 높게 나타났다. Starvation 이후 폐수가 재유입되어 정상상태로 운전 시 SVI는 담체를 주입한 경우가 담체를 주입하지 않은 경우보다 빠르게 회복하였다. SVI의 회복기간은 비염분 및 염분 폐수 모두 제올라이트 및 입상활성탄을 주입하였을 경우 회복은 각각 약 5일, 약 15일이 소요되었으나, 비염분 및 염분 폐수의 대조군 반응조는 starvation 이전의 SVI를 회복하는데 30일 이상이 소요되어 starvation 이전 담체를 주입이 starvation 이후 SVI를 회복하는데 효과적이었다. 두 담체 중에는 제올라이트 담체가 입상활성탄 담체보다 SVI 회복에 양호하였다. 이들 SVI의 차이는 주입한 두 담체의 비중 차에 의해 발생한 것으로 판단되었다.

### 3.2. Starvation 후 담체 주입이 floc 크기 및 fractal dimension의 회복에 미치는 영향

Fig. 2에는 염분 및 비염분 폐수를 대상으로 담체인 제올라이트 및 입상활성탄을 주입 하였을 때 starvation 전후의 floc 크기 변화를 나타내었다. Starvation 이전 상태에서 슬러지 floc 크기는 비염분 폐수와 염분 폐수의 경우에 각각 평균 199.0  $\mu\text{m}$ , 204.2  $\mu\text{m}$ 로 염분폐수에서의 floc 크기가 비염분 폐수에 비해 크게 형성하였다. 이는 염분으로 인해 물의 밀도가 증가하게 되어 크기가 작고 밀도가 낮은 floc은 정상 상태에 도달하기 전 유출되어 크고 밀도 높은 floc이 반응기에 남아 있으며<sup>6)</sup> 또한 염분으로 인해 이온세기의 증가로 응집이 촉진되어 큰 floc이 형성되기 때문이다.<sup>7)</sup> Fig. 2와 같이 5일의 starvation 기간 동안 제올라이트 및 입상활성탄

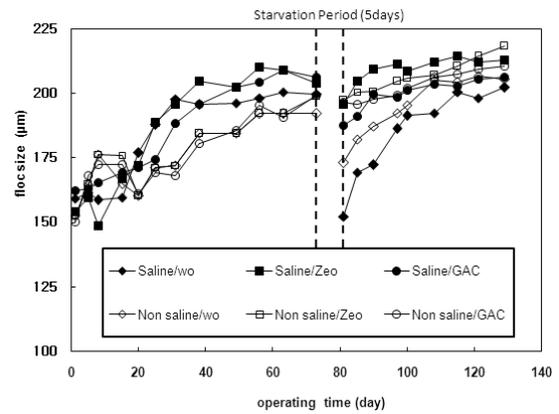


Fig. 2. Effect of starvation on the floc size with zeolite and GAC

을 주입하였을 경우 floc 크기는 비염분 폐수의 경우 199.0  $\mu\text{m}$ 에서 각각 197.7  $\mu\text{m}$ 과 196.5  $\mu\text{m}$ 로 감소하였으며, 염분 폐수의 경우 206.3  $\mu\text{m}$ 에서 각각 195.6  $\mu\text{m}$ 과 187.6  $\mu\text{m}$ 으로 감소하였다. 담체를 주입하지 않은 반응조의 비염분 및 염분 폐수의 경우 floc 크기는 각각 192.2  $\mu\text{m}$ 에서 173.1  $\mu\text{m}$ , 210.3  $\mu\text{m}$ 에서 152.3  $\mu\text{m}$ 까지 감소하여 담체를 주입하였을 경우가 starvation에 의한 floc 크기의 감소폭이 적게 나타났다. Starvation 이후 재운전시 floc 크기가 점차 증가하여 starvation 이전의 floc 크기로 회복하는 기간은 비염분 폐수의 경우 제올라이트 주입시 5일, 입상활성탄 주입시 15일 정도 소요되었으며, 염분 폐수의 경우 제올라이트 주입시 5일, 입상활성탄 주입시 20일정도 소요되었다. 담체를 주입하지 않은 경우 floc 크기의 회복기간은 비염분 폐수의 경우 약 20일, 염분 폐수의 경우 약 30일 정도 소요되었다. 이와 같이 담체 주입 유무에 따른 floc 크기를 비교하면 SVI의 경향과 유사하게 담체 주입이 starvation에 의한 floc의 크기 감소를 최소화하고 동시에 floc 크기 회복에 유리함을 알 수 있었다.

Fig. 3에는 염분 및 비염분 폐수를 대상으로 담체인 제올라이트 및 입상활성탄을 주입 하였을 때 starvation 전후의 fractal dimension의 변화를 나타내었다. Starvation 이전 상태에서 비염분 폐수는 평균 2.02, 염분 폐수는 1.94로 비염분 폐수에서 큰 값을 나타내었다. 이는 비염분 폐수의 슬러지 floc에 비해 염분폐수에 발생하는 슬러지 floc이 더 불규칙하고 표면적이 넓기 때문에 Fig. 1에 나타난 바와 같이 침강성에 불리한 형태 특성을 가지고 있음을 알 수 있다. 5일의 starvation 기간 동안 fractal dimension의 변화는 제올라이트 및 입상활성탄 주입시 비염분 폐수의 경우 2.02에서 각각 2.03과 2.02로 큰 변화가 없었으며, 염분 폐수의 경

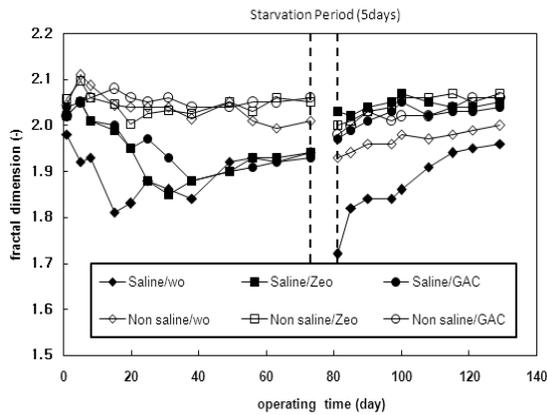


Fig. 3. Effect of starvation on the fractal dimension with zeolite and GAC

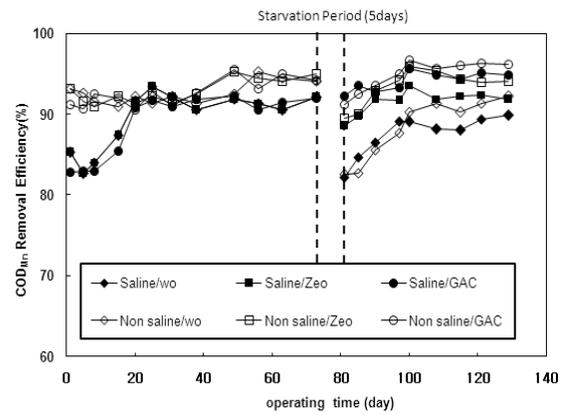


Fig. 4. Effect of starvation on the COD<sub>Mn</sub> removal efficiency with zeolite and GAC

우 1.94에서 각각 2.03과 1.97로 약간 증가하였다. 담체를 주입하지 않은 대조군 반응조의 경우 비염분 폐수는 2.01에서 1.93로, 염분 폐수는 1.93에서 1.72까지 감소하여 염분폐수가 비염분 폐수보다 더 불규칙한 floc 형태로 변화되었다. Starvation이후 재운전 되면서 fractal dimension은 점차 증가하여 비염분 폐수의 경우는 제올라이트를 주입하였을 때 5일, 입상활성탄을 주입하였을 때 10일 만에 이전의 fractal dimension 값을 회복하였으며 염분 폐수의 경우 제올라이트 주입시 fractal dimension 변화는 거의 일어나지 않았으며, 입상활성탄 주입 시에는 완만하게 회복되었다. 담체를 주입하지 않은 상태에서 fractal dimension 값의 회복 기간은 두 폐수의 경우 모두 50일 이상 소요되었다. 이와 같이 담체를 주입한 상태에서의 starvation이 담체를 미주입한 상태의 starvation 보다 floc의 형태변화를 최소화하여 fractal dimension 값의 회복기간을 빠르게 하는 것으로 나타났다. 이상 결과를 종합하여 보면 starvation 전에 두 폐수 모두에서 제올라이트를 주입한 경우가 입상활성탄을 주입한 경우보다 starvation 직후 floc 크기와 fractal dimension의 감소가 크게 일어나지 않게 하며, starvation 이후 반응기 재운전 시 floc 크기와 fractal dimension의 회복에 유리하게 작용하고 있음을 알 수 있었다.

### 3.3. Starvation 후 담체 주입이 COD<sub>Mn</sub>의 처리효율 회복에 미치는 영향

Fig. 4에는 염분 및 비염분 폐수를 대상으로 담체인 제올라이트 및 입상활성탄을 주입 하였을 때 COD<sub>Mn</sub> 처리효율의 변화를 나타내었다. Starvation 이전 상태에서 염분 폐수 및 비염분 폐수의 COD<sub>Mn</sub> 처리효율을 비교하여 보면 비염분 폐수는 평균 92.7%, 염분 폐수는 평균 89.1%로 염분폐수의 처

리효율이 비염분 폐수의 처리효율에 비해 크게 떨어지는 것으로 나타났다. 비염분 폐수에서 제올라이트를 주입한 5일간의 starvation의 경우, COD<sub>Mn</sub> 처리효율은 95.0%에서 90.3%로 감소하고, 입상활성탄을 주입한 경우 94.2%에서 95.3%로 증가하였다. 염분 폐수에서 제올라이트를 주입하였을 경우 COD<sub>Mn</sub> 처리효율은 92.1%에서 88.6%로 감소하였고, 입상활성탄을 주입하였을 경우 92.0%에서 92.3%로 COD<sub>Mn</sub> 처리효율이 약간 증가하였다. 그러나, 담체를 주입하지 않은 대조군 반응조의 비염분 및 염분 폐수의 경우 COD<sub>Mn</sub> 처리효율은 각각 94.1%에서 82.5%로, 92.1%에서 82.1%로 유기물 처리효율이 크게 감소하였다. Starvation 기간 이후 재가동시 두 폐수 모두에서 제올라이트를 주입하였을 경우 starvation 이전 COD<sub>Mn</sub> 처리효율을 회복하는데 약 17일이 소요되었고, 입상활성탄을 주입하였을 경우 처리효율의 회복기간은 거의 유사하였으나 starvation이전보다 더 높은 처리효율을 보였다. 반면 담체를 주입하지 않은 대조군 반응조의 비염분 및 염분 폐수의 경우 starvation 이전의 처리효율을 회복하는데 50일 이상이 소요되었다. 두 폐수 모두에서 입상활성탄을 주입 시가 제올라이트 주입 시보다 COD<sub>Mn</sub> 처리효율의 저하가 적었으며 반응기를 정상적으로 재가동하였을 경우 starvation 이전 효율보다 높게 나타났다. 이와 같이 입상활성탄을 주입한 상태가 제올라이트를 주입한 상태보다 COD<sub>Mn</sub> 처리효율이 양호한 것은 입상활성탄에는 세공과 표면에 부착된 미생물과 흡착된 유기물량이 많아 재가동 시에 제올라이트 담체보다 입상활성탄 담체에서 미생물의 활성화와 흡착이 활발히 회복되기 때문으로 판단되었다. 이는 기존 연구자의 생물활성탄 연구<sup>3,8)</sup>에서도 유사한 결과를 보고하고 있다.

### 3.4. Starvation 후 담체 주입이 T-N의 처리효율 회복에 미치는 영향

Fig. 5은 T-N 처리효율의 변화를 나타낸 그림이다. Starvation 이전 상태에서 T-N의 처리효율은 비염분 폐수 경우 평균 43.8%, 염분 폐수의 경우 43.4%의 처리효율로 거의 유사한 값을 나타냈다. Starvation전에 제올라이트 및 입상활성탄을 주입하고 5일 경과 후 비염분 폐수에서 T-N 처리효율은 제올라이트를 주입한 경우 55.5%에서 49.2%로, 입상활성탄을 주입한 경우 57.12%에서 44.3%로 저하되었으며 염분 폐수에서의 T-N 처리효율은 제올라이트 주입시 46.1%에서 34.3%로, 입상활성탄 주입시 45.6%에서 35.7%로 감소하는 경향을 보였다. 담체 미주입 대조군 반응조의 비염분 및 염분 폐수의 경우 T-N 처리효율 각각 56.3%에서 32.2%로, 46.1%에서 27.3%로 T-N 처리효율이 담체 주입 시보다 크게 감소하였다. Starvation이후 반응기를 정상적으로 재가동시 비염분 폐수의 경우 제올라이트 주입시 이전 T-N 처리효율을 회복하는데 약 5일이 소요되었고, 입상활성탄 주입시 25일이 소요되었으며, 염분 폐수의 경우 제올라이트 주입시 10일, 입상활성탄 주입시 28일이 소요되었다. 두 폐수 모두에서 T-N 처리효율의 회복은 COD<sub>Mn</sub> 처리 효율 회복과 달리 입상활성탄 담체에서 보다 제올라이트 담체에서 빨랐다. 반면, 담체를 주입하지 않고 두 폐수를 주입한 대조군 반응기 경우는 starvation 이전의 T-N 처리효율을 회복하는데 약 50일 정도가 소요되었다. 본 실험결과, 담체 주입 starvation의 경우 두 폐수 모두 제올라이트를 주입하였을 때가 starvation에 의한 T-N 처리효율 저하가 적어, 반응기 재가동 시 starvation 이전의 처리효율을 회복하는데 효과적이라 할 수 있었다. 이와 같이 반응기 재가동 후, T-N 처리효율 회복이 제올라이트를 주입하였을 경우가 입

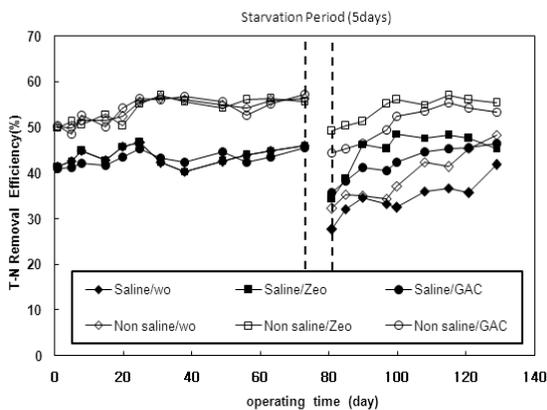


Fig. 5. Effect of starvation on the T-N removal efficiency with zeolite and GAC

상활성탄보다 빠른 것은 암모늄이온 일부가 제올라이트에 이온교환 및 흡착되고,<sup>2)</sup> 활성슬러지에서 질산화균과 같은 독립영양균이 차지하는 비율이 starvation에 의해 상대적으로 증가하였기 때문에 T-N 처리효율이 상승한 것으로 판단되었다. 그러나, 후자의 경우는 불명확한 부분이 있어 보다 정량적인 연구가 필요하다.

### 3.5. Starvation 후 담체 주입이 T-P의 처리효율 회복에 미치는 영향

Fig. 6은 SBR에서 염분 및 비염분 폐수를 대상으로 starvation 전후의 T-P 처리효율의 변화를 나타낸 그림이다. Starvation 이전 상태에서 T-P의 처리효율은 비염분 폐수의 경우 평균 54.9%, 염분 폐수의 경우 평균 46.8%의 처리효율이었다. 비염분 폐수에서 T-P의 처리효율이 높게 나타난 것은 3.1에서 서술한 바와 같이 비염분 폐수의 침강성이 염분 폐수의 침강성보다 높기 때문이라 할 수 있다. 제올라이트 및 입상활성탄을 주입하고 5일간의 starvation 후 비염분 폐수의 경우 T-P 처리효율이 제올라이트 주입 시 57.6%에서 50.7%로, 입상활성탄 주입 시 56.3%에서 49.2%로 저하하였으며, 염분 폐수의 경우 제올라이트 주입 시 52.2%에서 48.6%로, 입상활성탄 주입 시 55.3%에서 42.2%로 감소하였다. 담체를 주입하지 않은 경우, 비염분 및 염분 폐수는 각각 57.3%에서 35.6%로, 52.2%에서 28.6%로 크게 감소하였다. 이후 starvation 기간이 끝나고 반응기가 재운전 되면서 비염분 폐수의 경우 제올라이트 주입시 이전 T-P 처리효율을 회복하는데 약 7일, 입상활성탄 주입시 20일이 소요되었다. 염분 폐수의 경우 제올라이트 주입 시 약 5일, 입상활성탄 주입 시 40일이 소요되었다. 담체를 주입하지 않은 경우 두 폐수 모두 약 50일이 지나도 starvation 이전

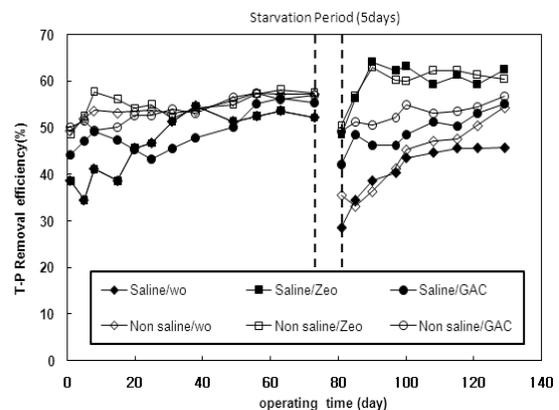


Fig. 6. Effect of starvation on the T-P removal efficiency with zeolite and GAC

의 T-P 처리효율이 회복되지 않았다. Starvation 이후 담체를 주입한 반응기의 재가동 시에 제올라이트 담체가 입상활성탄 담체보다 회복기간이 빨랐으며 처리효율도 양호하였다. 이는 starvation 동안에 주입한 담체로 인하여 슬러지의 floc 해체가 적게 일어나 재가동 시 슬러지의 효과적인 침전으로 입자성 인성분의 제거가 일어났기 때문으로 판단되었다. 제올라이트 담체에서의 T-P 처리효율이 입상활성탄 담체에 비해 양호한 것은 이온교환능과 침강성이 양호하기 때문으로 사료된다. 이상의 결과를 종합하여 보면 starvation 후 재가동 시에 두 폐수를 처리하는 반응기에서 담체 주입한 경우가 담체 미주입한 경우보다 회복기간 및 처리효율이 양호한 것은 인축적미생물(PAO)에 의한 인 제거보다는 제올라이트 담체로 인한 floc 크기 및 fractal dimension의 적은 변동과 starvation 동안 생성된 floc의 체외고분자물질(ECPs)으로 인한 빠른 floc회복과 침강성 향상,<sup>9)</sup> 그리고 담체의 이온교환능 등으로 T-P제거가 효과적으로 이루어졌다고 할 수 있다.

#### 4. 결론

폐수의 유입중단이 자주 발생하는 생물학적 폐수처리시설(SBR)에서 starvation 직전 전에 제올라이트나 입상활성탄 등의 담체주입이 슬러지의 물리적 특성 및 오염물질 제거 회복 시간에 미치는 영향에 대하여 실험연구를 수행한 결과, 얻어진 결론은 다음과 같다.

- 1) Starvation 발생 시 담체를 주입하지 않은 경우 두 폐수 모두 이전 SVI를 회복하는데 40일 이상이 소요되었으나, 제올라이트 및 입상활성탄을 주입 시 비염분 및 염분 폐수 모두 각각 5일, 15일이 소요되어 담체 주입이 침강성 회복에 도움을 주었다.
- 2) Starvation 이전의 floc 크기를 회복하는데, 담체를 주입하지 않은 비염분 및 염분 폐수의 경우 각각 17일, 30일이 소요되었으나, 제올라이트 및 입상활성탄을 주입한 경우 비염분 폐수는 각각 5일, 15일, 염분 폐수는 5일, 20일이 소요되어 담체 주입이 starvation 이후 floc 크기 회복에 효과적이었다.
- 3) Starvation 이전의 fractal dimension 값을 회복하는데 담체를 주입하지 않은 비염분 및 염분 폐수의 경우, 모두 50일 이상이 소요되었으나, 제올라이트 및 입상활성탄과 같은 담체 주입 시 비염분 및 염분 폐수 모두

fractal dimension 값이 감소하지 않아 starvation 발생 시 담체의 주입이 fractal dimension 유지에 효과적이었다.

- 4) 제올라이트 및 입상활성탄을 주입하였을 경우가 COD<sub>Mn</sub> 처리효율 감소가 적게 일어났으며 특히, 입상활성탄을 주입하였을 경우 흡착 및 미생물의 활성에 의해 starvation 이전의 처리효율보다 높게 나타났다. COD<sub>Mn</sub> 처리효율 회복기간은 두 폐수의 경우 담체주입 시에 17일이 소요되었으나, 담체 미주입 시에는 50일 이상이 소요되었다.
- 5) 재가동 시 starvation 이전의 T-N 및 T-P 처리효율을 회복하는 소요되는 기간은 비염분 및 염분 폐수 모두 제올라이트 담체 주입시 7일 이내로 가장 짧은 기간이 소요되었다. T-P의 처리효율은 starvation 전에 제올라이트를 주입이 floc의 침전을 도와 T-P 처리 효율에 큰 영향을 미치며, starvation 이전 처리효율 보다 높은 처리효율을 보였다.

**KSEE**

#### 사 사

본 연구는 한국연구재단 지역대학 우수과학자 지원사업(KRF-2007-521-D00268) 지원으로 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. Morgenroth, E., Obermayer, A., Arnold, E., Bruhl, A., Wagner, M., and Wilderer, P., "Effect of long-term idle periods on the performance of sequencing batch reactors," *Water Sci. Tech* 701, **41**, 105~113(2000).
2. He, S. B., Xue, G., Kong, H. N., and Li, X., "Improving the performance of sequencing batch reactor(SBR) by the addition of zeolite powder," *J. Hazard. Mater.*, **142**, 493~499(2007).
3. Park, S. J., Oh, J. W., and Yoon, T. I., "The role of powdered zeolite and activated carbon carriers on nitrification in activated sludge with inhibitory materials," *Proc. Biochem.*, **39**, 211~219(2003).
4. Chang, W. S., Hong, S. W., and Park, J. K., "Effect of zeolite media for the treatment of textile wastewater in a biological aerated filter," *Proc. Biochem.*, **37**, 693~698(2002).
5. Moon, B. H., Seo, G. T., Lee, T. S., Kim, S. S., and Yoon, C.

- 
- H., "Effect of salt concentration on floc characteristics and pollutants removal efficiencies in treatment of seafood wastewater by SBR," *Water Sc. and Technol.*, **47**(1), 65~70(2002).
6. Moussa, M. S., Sumanasekera, D. U., Ibrahim, S. H., Lubberding, H. J., Hooigamans, C. M., Gijzen, H. J., and van Liisdrecht, M. C. M. "Long term effects of salt in activity, population structure and floc characteristics in enriched bacterial cultures of nitrifiers," *Water Res.*, **40**(7), 1377~1388(2006).
7. Cousin, C. P., and Ganczarzyk, J. J., "Effect of salinity on physical characteristics of activated sludge flocs," *Water Qual. Res. J. Canada*, **33**(4), 565~587(1998).
8. Zhang, X. J., Wang, Z. S., and Gu, X. S., "Simple combination of biodegradation and carbon adsorption- The mechanism of the biological activated carbon process," *Water Res.*, **25**(1), 165~172(1991).
9. Pavoni, J. L., Tenney, M. W., and Echeckberger, W. F., "Bacterial excretular polymers and biological flocculation," *J. WPCF*, **40**, 414~431(1972).