

알루미늄부식을 조합한 간헐폭기법에 의한 합성폐수 중의 인 및 질소 제거

정경훈 · 정오진 · 최형일
조선대학교 환경공학부

Phosphorus and Nitrogen Removal from Synthetic Wastewater by Intermittently Activated Sludge combined with Aluminium Corrosion

Kyung Hoon Cheong, Hyung Il Choi and Oh Jin Jung

Division of Environmental Engineering, Chosun University
(Received 9 August 2001 ; Accepted 17 September 2001)

ABSTRACT

A laboratory experiment was performed to investigate phosphorus and nitrogen removal from synthetic wastewater by intermittently activated sludge process packed with aluminium plate. Three continuous experimental systems, i. e. an intermittently activated sludge process(Run A), an intermittently activated sludge process with an aluminium plate packed into the reactor(Run B), and a reactor post stage(Run C) were compared.

In the batch experiments, the phosphorus removal time in the reactor packed with copper and aluminium plate simultaneously was faster than that of the reactor packed with only an aluminium plates. However, the reactor packed with only an aluminium plate could be used for phosphorus removal. More phosphorus was removed with an increase of surface area of aluminium plate and electrolysis(NaCl) concentration. The efficiency of COD and nitrogen removal was not affected in Run B. However, the phosphorus removal efficiency decreased because of reaction products and activated sludge which gradually covered gradually the surface of the aluminium plate. The efficiency of phosphorus removal in Run C was 86.3% at the HRT of 3.2 hours. Especially, the efficiency of phosphorus removal in Run C was higher than that in Run B.

Keywords : Aluminium corrosion, Intermittently activated sludge, Phosphorus removal, Nitrogen removal

I. 서 론

최근의 수질오염은 생활하수에서 주로 기인하며 오염 부하율이 높은 편으로 호소, 내만 등의 폐쇄성 수역이나 대도시를 흐르고 있는 중·소하천 등에서도 생활하수 등의 오염물질이 대량으로 유입되어 부영양화 현상이 발생하고 있다.

생활하수 처리방법의 하나로서 분뇨와 생활배수를 같이 처리하는 오수정화시설과 합병처리 정화조를 들 수 있으나, 수질오염이 활발하게 진행되고 있는 하천이나 호소 내만 등에서는 현재의 수질 규제치인

BOD나 COD의 저감방법만으로는 수질환경을 개선하기가 어렵기 때문에 질소와 인 등의 영양염을 제거할 수 있는 고도처리시설이 필요하다.^{1~3)}

폐수중의 질소와 인을 제거하기 위한 생물학적 처리방법으로는 혐기·호기법(A/O법), 혐기·무산소·산소법(A₂/O법), 연속회분식법(SBR) 및 간헐폭기법등이 개발되고 있으나 이러한 생물학적 처리방법은 최적 공정관리가 매우 복잡하고 어려운 점이 있다.^{4,5)}

한편 인 제거에 있어서는 응집침전법, 생물학적 탈인법, 정석법, 이온교환법 등이 있지만, 현재 널리 이용되고 있는 것은 생물학적 탈인법과 알루미늄 및 철염에 의한 응집침전법이다. 이러한 시스템은 대규모 처리시설에는 적용 가능하지만 소규모 오수처리시설에 적용하는 경우에는 시설비 및 슬러지량의 증가와

*Corresponding author : Division of Environmental Engineering, Chosun University.
Tel : 062-230-6628, Fax : 062-230-6628
E-mail : khjung@mail.chosun.ac.kr

그 처분에 따른 운전비 및 유지 관리면에서 어려운 문제점을 안고 있다.⁶⁾

이러한 문제점을 해결하기 위해서 최근에는 소규모 오수처리시설에 적합한 인 제거 기술로서 응집제 성분인 알루미늄제나 철제를 이용한 연구개발이 수행되고 있으며, 이것은 전기화학적으로 금속을 용해시켜 발생하는 금속이온과 수중의 인을 반응시켜 제거하는 시스템이다. Groterou와 Smoczynski⁷⁾, 官崎 등⁸⁾은 전기분해를 이용한 인 제거에서 철 전극보다는 알루미늄 전극을 사용하였을 때 인 제거율이 향상되었음을 보고하였다. 伊 등⁹⁻¹¹⁾은 알루미늄 접촉제를 이용한 소형 합병처리 정화조의 처리 성능에 관한 연구 및 소형 합병처리 정화조의 처리기능의 고도화에 관한 연구에서 알루미늄판을 합병처리 정화조의 접촉 폭기조에 설치하였을 때 합성하수 및 실제하수 중의 인이 효율적으로 제거됨을 보고하였다.

국내에서는 황 등¹³⁾이 철의 전기분해를 이용한 활성슬러지 공정에서 돈사폐수의 인 제거 및 질산화 등 철제를 이용한 인 제거에 대한 연구개발이 이루어지고 있으며, 특히 정 등^{14,15)}은 알루미늄의 전기분해를 이용한 인 제거에 관한 기초연구 및 알루미늄의 전기분해를 이용한 오수 중의 인 제거에 관한 연구에서 합성오수 중의 인 제거시 미치는 영향 인자를 조사하여 보고한 바 있다.

그러나 철제나 알루미늄제를 전기분해하기 위해서는 전력비용이 증가하는 문제를 안고 있기 때문에 최근에는 알루미늄을 부식시켜 용출되는 알루미늄과 수중의 인을 반응시켜 제거하고자 하는 연구도 이루어지고 있다.

近 등^{16,17)}은 페알루미늄 캔을 호기성 여재로 사용하여 오수 중의 인을 제거하기 위한 연구를 수행하였으며, 정 등¹⁸⁾도 알루미늄의 부식으로 발생한 알루미늄 이온에 의한 인 제거 연구를 수행하였다. 이것은 이온화 경향이 다른 금속을 염화물이 존재하는 수용

액에 넣었을 때 일어나는 국부적 또는 점 상태의 부식(공식:pitting corrosion)의 원리¹⁹⁾를 이용한 것이다.

이들의 연구에서는 알루미늄판을 부식시키기 위하여 이온화 경향이 다른 금속 즉, 구리를 염화물이 존재하는 수용액에 넣어 알루미늄을 용출시키고 있으나, 처리수중에 구리가 잔존하였으며 처리수중에 구리가 남게 되면 배출허용기준을 초과할 수도 있는 문제점을 안고 있다.

따라서 본 연구에서는 이온화 경향이 다른 이중금속을 수중에 첨가하지 않고 단지 알루미늄만 수중에 넣어 부식시켜 인을 제거하기 위한 연구를 수행하고자 한다. 아직까지 알루미늄만 수중에 첨가하여 알루미늄판에서 용출된 알루미늄 이온을 이용하여 인을 제거한 연구는 국내외에서 이루어지지 않고 있기 때문에 그 가능성에 대한 기초연구를 수행하여 활성슬러지 및 간헐폭기 반응조에서 오수 중의 인 제거에 따른 특성을 조사하고자 한다.

II. 실험방법 및 재료

1. 회분식 실험

본 실험에 사용한 회분식 반응조의 구성과 형태는 Fig. 1과 같으며, 폭기조로써 5L 용량의 비이커를 사용하였다. 금속판으로는 일반 상업용으로 시판되고 있는 알루미늄판(두께 0.4 mm, 세로 10 cm×가로 6 cm)과 구리판(두께 0.4 mm, 세로 6 cm×가로 5 cm)을 사용하였다. 이 금속판을 브러쉬한 다음, 반응용기내에 일정 갯수를 설치하였으며, 공기 공급을 위하여 반응조 아랫부분에 공기 확산기를 설치하였다. 실험에 사용된 활성슬러지는 K 하수종말처리장의 반응 슬러지를 사용하였으며, 폭기조의 MLSS 농도는 2,200 mg/L로 유지시켰다.

또한 실험에 사용된 원수는 합성폐수를 사용하였으며, Table 1에 합성폐수의 조성을 나타내었다. 실험에서 사용된 합성폐수의 pH는 7.2, 전해질(NaCl)

Table 1. Composition of a synthetic wastewater

| Components | Concentration(mf/L) | Remarks |
|---------------------------------------|---------------------|-------------------|
| Glucose | 250 | Carbon Source |
| NH ₄ Cl | 191 | Nitrogen Source |
| KH ₂ PO ₄ | 21.95 | Phosphorus Source |
| NaHCO ₃ | 250 | |
| FeCl ₃ · 6H ₂ O | 0.375 | |
| KCl | 4.7 | Minerals |
| MgSO ₄ · 7H ₂ O | 50 | |
| CaCl ₂ · 2H ₂ O | 10 | |

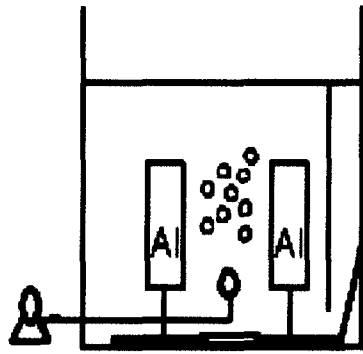


Fig. 1. Schematic diagram of the batch reactor.

농도는 0.05%이며, 반응은 25±2℃의 항온실에서 수행하였다.

2. 연속식 실험

생활오수의 고도처리를 위해 Fig. 2와 같이 단일 간헐폭기 활성슬러지법에 알루미늄판을 충전한 반응장치를 제작하였다.

폭기조의 용량은 5 L이다. 폭기조에 공기 확산기를 설치하여 활성슬러지 미생물에게 필요한 산소공급은 물론 산화된 알루미늄이온과 인산염의 접촉이 원활이 일어나게 하기 위하여 충분히 폭기시켰다.

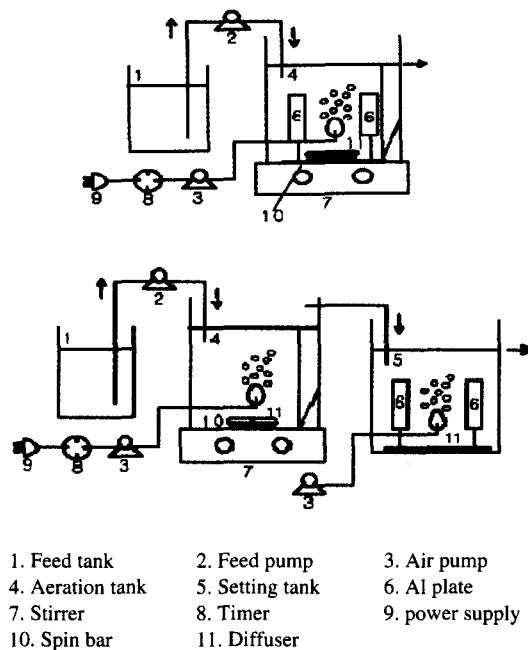


Fig. 2. Schematic diagram of the experimental apparatus for the continuous reactor.

알루미늄판을 첨가하지 않은 대조군인 Run A와 알루미늄판을 활성슬러지 반응조내에 첨가한 Run B, 알루미늄판을 활성슬러지 후단에 설치한 Run C를 동시에 운전하였으며, 각 반응조의 HRT를 변화시키면서 유기물 및 질소와 인의 제거효율에 대한 처리성을 비교 검토하였다.

슬러지의 접종은 K 하수종말처리장의 반응슬러지를 약 2주간 순화시킨 다음 사용하였으며, 폭기조의 MLSS 농도를 3,000 mg/L로 유지시켰다.

또한 실험에 사용된 원수는 합성폐수를 사용하였으며, 합성폐수의 조성은 회분식 실험에서 사용한 것과 같다. 반응은 25±2℃의 항온실에서 수행하였다.

3. 분석항목 및 방법

COD_{Mn}, T-N, NH₄-N, NO₃-N, T-P 및 PO₄-P는 수질오염 공정시험법²⁰⁾에 의거하여 분석하였으며, pH는 pH meter(TOA社, MH-149)를 사용하여 측정하였고, EDS는 주사전자현미경(JSM-840A, JEOL Co.)으로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 구리판의 영향

본 실험은 알루미늄판 만을 인 제거에 사용할 때의 구리판의 영향을 조사하기 위한 것으로써 구리판과 알루미늄판의 앞면은 보호피막을 철 브러쉬로 제거하였다. 한쪽은 알루미늄판(840 cm²)과 구리판(360 cm²)을 넣었으며 다른 한 쪽은 알루미늄판 만(840 cm²) 넣었다. 실험 결과는 Fig. 3과 같다. 알루미늄판과 구리판을 넣었을 경우에는 합성폐수 중의 5 mg/L

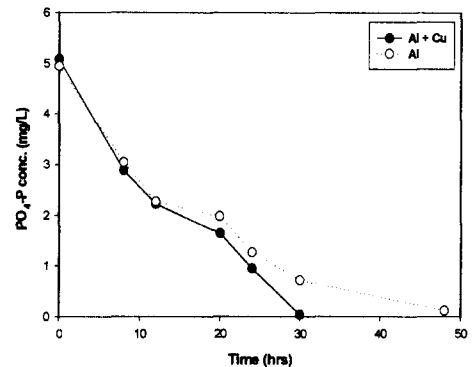


Fig. 3. Effects of Cu on PO₄-P removal Reaction conditions:NaCl concentration 0.05%, Al and Cu plate surface area 840 cm² and 360 cm², respectively, pH 7.2.

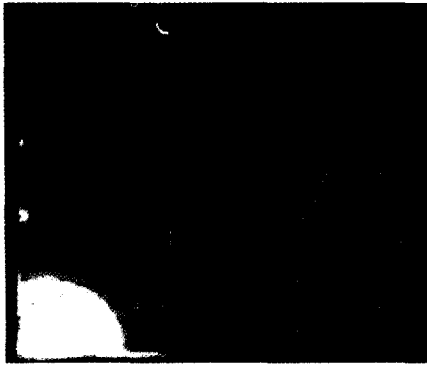


Fig. 4. Photograph of precipitates formed on the Aluminium plate.

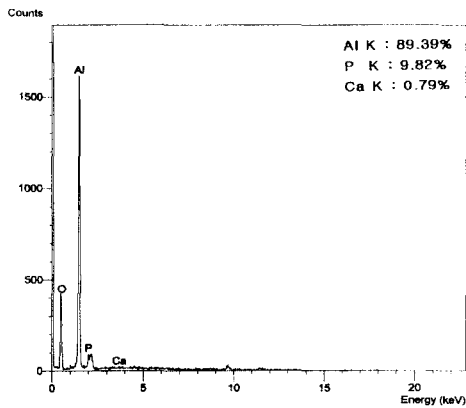


Fig. 5. EDS analysis for the precipitate in batch experiment.

의 인이 완전히 제거되는데 약 30시간 정도 걸렸으나 알루미늄판 만 넣었을 경우에는 30시간에서 약 85.5%의 제거율을 보였다. 48시간까지 반응시킨 경우 4.28 mg/L까지 제거할 수 있었다. 이와 같이 구리판을 첨가한 경우에는 알루미늄판 만 넣었을 때 보다 인 제거 시간이 빠르지만 알루미늄판 만 첨가하더라도 인 제거가 가능함을 알 수 있었다. 정 등¹⁸⁾은 증류수에 인을 첨가한 계에서 알루미늄판 만 넣어도 수중의 인이 제거됨을 보고한 바 있듯이 본 실험의 조건에서도 인이 제거되는 것은 염화물이 존재할 때 구리가 없더라도 알루미늄판에서 부식이 일어나기 때문인 것으로 사료된다. 한편 Fig. 4와 같이 반응이 끝난 후의 알루미늄판 표면에는 작은 구멍과 작은 백색의 돌기가 형성되었으며, 이것은 알루미늄판 표면이 공식(Pitting corrosion)에 의해 부식될 때 생성되는 알루미늄 이온과 수중의 인이 반응하여 흡착된 것으로 사료된다. Fig. 5에는 알루미늄판의 표면에 생성된 침전 물질의 성분을 EDS 분석을 통해 나타낸 것으로서 대

부분이 알루미늄 성분이며 인 성분도 검출되고 있음을 알 수 있다.

2. 전해질 농도의 영향

공식이 일어나기 위한 조건으로는 국부적으로 파괴하는 작용을 가진 음이온의 존재이며, 이와 같은 음이온으로서 Cl⁻이 일반적으로 고려된다.²⁾

본 실험에서는 활성슬러지 반응조에서 알루미늄판을 설치한 후 합성폐수의 전해질 농도를 다르게 하였을 때의 인 제거를 조사하였으며 전해질 농도로서는 NaCl양을 다르게 하였다. 실험결과는 Fig. 6과 같다. 전해질 농도로써 NaCl이 0.09%일 때 5 mg/L의 인이 완전히 제거되는데 38시간이 걸렸으며, 0.05%일 때는 48시간정도 걸렸으나 NaCl이 0.03%일 때에는 48시간에서 약 4.36 mg/L 정도가 제거되었다. 이와 같이 NaCl의 농도가 높을수록 인 제거시간이 단축되었다.

정 등¹⁸⁾ 역시 알루미늄판을 부식시키는 데 있어서 구리판이나 NaCl을 동시에 첨가하는 것이 가장 바람직하나 NaCl만 첨가하더라도 인이 제거되는 것으로 보고 한 바 있으며 임 등²¹⁾ 역시 전도도가 증가하면 부식 반응이 가속화됨을 보고한 바와 같이 Cl⁻농도가 높으면 알루미늄판 부식이 효과적으로 일어나는 것으로 사료된다.

3. 알루미늄판 표면적의 영향

알루미늄판 표면적이 인 제거에 미치는 영향을 조사하기 위해서 활성슬러지 반응조에 표면적이 각각 120, 480, 840, 1320 cm²인 알루미늄판을 넣었으며 실험결과는 Fig. 7에 나타내었다.

알루미늄판 표면적이 1320 cm² 와 840 cm² 일 때

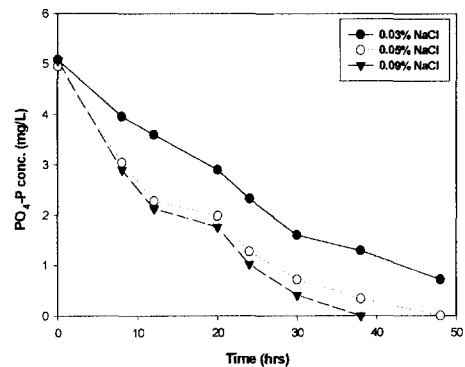


Fig. 6. Effects of NaCl concentration on PO₄-P removal. Reaction conditions:Al plate surfate area 840 cm², pH 7.2.

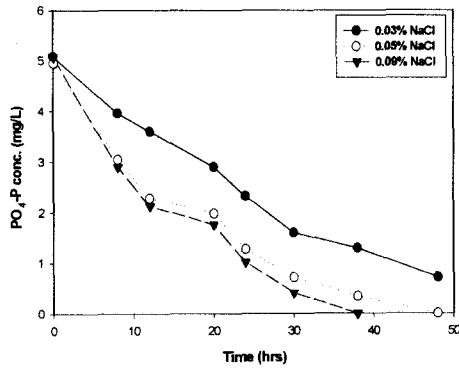


Fig. 6. Effects of surfate area of Al plate on PO₄-P removal. Reaction conditions:NaCl concentration 0.05%, pH 7.2.

수중의 인은 각각 38시간과 48시간만에 완전히 제거되었으나 알루미늄판 표면적이 480 cm²와 120 cm² 일 때에는 48시간일 때 각각 약 4.71 mg/L과 3.57 mg/L정도가 제거되었고, 알루미늄판 표면적이 넓을수록 인 제거 시간이 빨랐다. 이와 같이 본 실험에서는 반응조 내의 알루미늄판 부식으로 발생한 Al 이온의 농도를 측정하지 못하여 알루미늄 이온의 농도를 알 수 없으나 알루미늄판의 표면적을 480 cm² 이상으로 하면 수 중의 인이 충분히 제거되며, 알루미늄판 표면적 120 cm²일 때에는 알루미늄 이온이 적게 용출되기 때문에 완전히 제거되지 않는 것으로 사료된다. 한편 알루미늄판의 단위 표면적당, 단위시간당 인 제거를 보면 알루미늄판 표면적 120, 480, 840, 1320, 일 때 각각 3.09, 1.02, 0.61, 0.49 μg/cm² · h 로써 오히려 알루미늄판 표면적이 작을수록 단위표면적당, 단위시간당 인 제거속도가 큼을 알 수 있다. 이것은 투여한 알루미늄판의 면적에 비례하여 부식이 일어나지 않기 때문인 것으로 사료된다.

4. COD 및 질소의 변화

Fig. 8은 Fig. 7의 알루미늄판 표면적이 840 cm²인 반응조에서 COD와 질소농도의 변화를 나타낸 것이다. 초기 COD농도 및 NH₃-N농도는 각각 200 mg/L 와 55 mg/L이다.

Fig. 7에서 보듯이 표면적이 840 cm²인 알루미늄판을 설치한 반응조에서는 합성폐수 중의 인이 48시간만에 완전히 제거되었으며 COD는 8시간만에 20 mg/L 이하로 제거됨을 알 수 있고 NH₃-N역시 점차 감소하여 반응 8시간만에 10 mg/L 이하로 되었다. 한편, 질소인 경우에는 NH₃-N가 감소함에 따라 NO₃-N가 점차 증가하여 반응 24시간에는 약 30

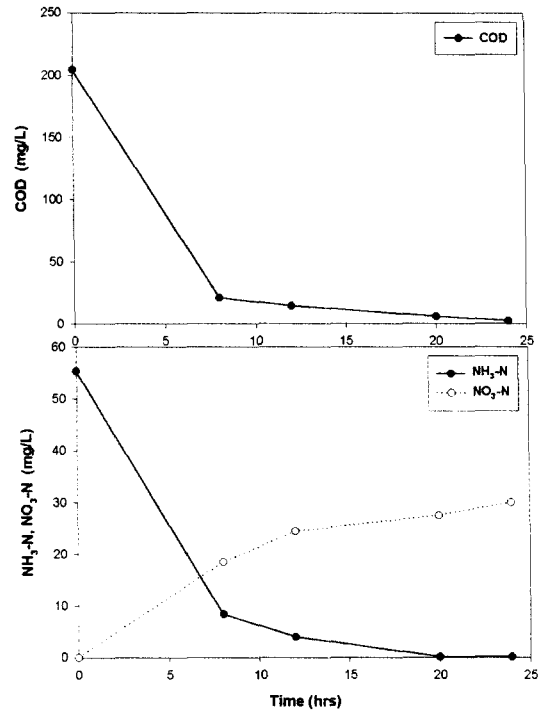


Fig. 8. Variations of COD and Nitrogen compounds in batch experiment. Reaction Conditions:NaCl concentration 0.05%, Al plate surface area 840 cm², pH 7.2.

mg/L 까지 도달하였다. 이와 같이 활성슬러지 반응조에서 인을 제거하기 위해 알루미늄판을 설치하더라도 COD 및 질소제거에는 영향을 주지 않는 것으로 판단된다.

5. 연속식 실험에 의한 인 제거

Fig. 9에는 각 반응조에서의 연속적으로 실험을 수행하였을 때의 인 제거 변화를 나타내었다.

알루미늄판을 설치하지 않은 대조 실험 반응기 (Run A)인 경우 초기 HRT를 12시간으로 하여 연속 실험을 수행하였으며, HRT 12시간일 때 처리수 인 농도는 평균 3.1 mg/L이었고 HRT를 8시간으로 하여도 처리수 인 농도는 HRT 12시간 일 때와 비슷하였다. 합성폐수의 초기 인 농도는 5 mg/L이며 실험 기간 동안 평균인 제거 율은 약 37.3%로써 본 실험장치가 간헐폭기법으로 실험이 수행되었기 때문에 인이 제거된 것으로 사료된다.

알루미늄판을 활성슬러지 반응조내에 설치하여 간헐폭기법으로 연속 실험한 결과는 Fig. 9의 Run B와

같다. HRT 12시간에서 인은 점차 감소하였으며 1 mg/L에서 안정적으로 유지되었으나 HRT를 8시간으로 하였을 때 처리수 인은 HRT의 감소로 인해 약 1.6 mg/L으로 증가하였으나 운전 50일까지는 2 mg/L 이하였다. 운전 50일 이후에는 인 농도가 점차 증가하는 경향을 보였는데 이는 장기간 운전으로 인해 알루미늄판 부식부분에 인과의 반응 생성물 및 활성슬러지가 부착되어 인과의 반응 표면적이 감소하기 때문인 것으로 사료된다. HRT 8시간에서의 처리수 평균 인 농도는 1.9 mg/L로 제거율은 62.7%이었다.

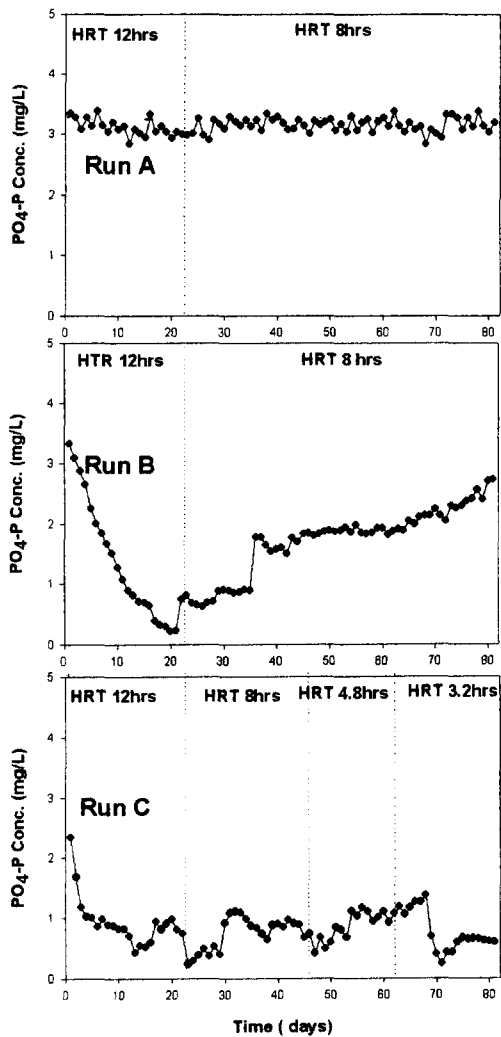


Fig. 9. Variations of PO₄-P concentration in continuous experiment (Run A, B and C).

Fig. 9의 Run C는 활성슬러지 반응조 후단에 알루미늄판을 설치하여 연속 실험한 결과이다. 활성슬러지 반응조는 HRT 12시간과 8시간으로 운전하였으며 후단에 알루미늄을 설치한 반응조에서는 HRT 12시간에서 3.2시간으로 운전하였다. Fig. 9의 Run B와 마찬가지로 HRT 12시간에서는 처리수 평균 인 농도는 0.9 mg/L이며 제거율은 82.4%이었고 HRT를 8시간으로 낮추어도 불구하고 처리수 평균 인 농도가 0.9 mg/L로 HRT 12시간일 때와 제거율이 비슷하였다. 그러나 HRT 4.8시간에서는 처리수 평균 인 농도가 1.1 mg/L(제거율 78.4%)로 HRT 8시간 일 때 보다 약간 증가하는 경향을 보였다. 실험 66일째부터 반응조내에 알루미늄판 360 cm²을 보충한 결과 처리수 평균 인 농도는 0.5 mg/L로 낮아졌으며 이후 HRT 3.2 시간에서는 HRT를 증가시키더라도 1 mg/L 이하인 0.7 mg/L(제거율 86.3%)로 유지시킬 수 있었다.

이와 같이 알루미늄판을 설치하여 수중의 인을 제거하기 위해서는 활성슬러지 반응조 내에 설치하는 것보다는 활성슬러지 후단에 설치하는 쪽이 알루미늄판에 활성슬러지가 부착되지 않고 안정적으로 인을 제거할 수 있을 것으로 판단된다.

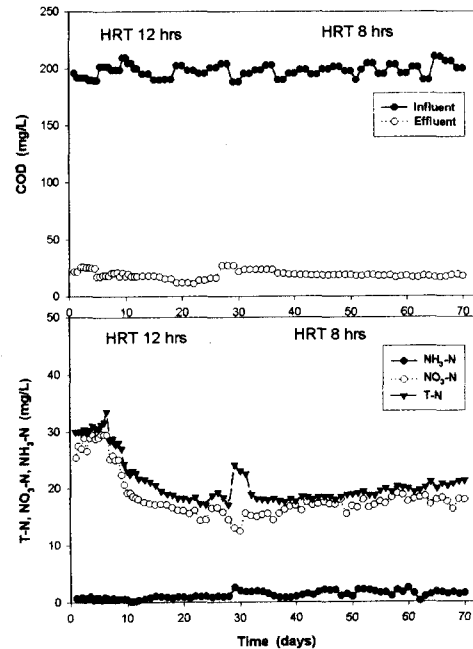


Fig. 10. Variations of COD and Nitrogen compounds in concentration experiment.

6. 연속식 실험에서의 COD 및 질소제거

Fig. 10에는 연속실험 활성슬러지 반응조의(Run B)에서의 COD 및 질소의 시간적 변화를 나타내었다. 활성슬러지 반응조는 간헐폭기(anoxic/oxic 1:1)법으로 실험을 수행하였다. 합성폐수의 유입수 COD농도는 200 mg/L 전후이며 HRT 12시간에서의 처리수 COD는 평균 18.4 mg/L로 90.8%의 제거율을 보였고, HRT 8시간에서는 체류시간의 감소로 약간 증가하였으나 안정적으로 처리되었다. HRT 8시간에서의 처리수 평균 COD는 20.4 mg/L로써 제거율은 89.8%이었다. 한편 질소인 경우 초기 유입수 T-N 농도는 55.1 mg/L이었으나, HRT 12시간일 때 유출수 중의 NH₃-N는 평균 0.6 mg/L로 유입수 중의 NH₃-N는 NO₃-N형태로 전환되었으며 NO₃-N는 실험초기에 25 mg/L 전후에서 점차 탈질되어 실험기간이 지남에 따라 감소하는 경향을 보이고 있고 이에 따라 T-N 역시 감소하는 추세였으나 실험 15일 후에는 증가하는 추세를 보였다. HRT 8시간에서는 HRT 감소로 유출수 NH₃ 및 T-N 농도가 증가하였으나 30일 부터는 일정한 농도로 유지되었다. HRT 8시간에서의 유출수 평균 NH₃-N, NO₃-N 및 T-N 농도는 각각 18.9 mg/L, 16.3 mg/L, 1.5 mg/L이며 T-N의 제거율은 65.7%이었다. 이는 Kubo 등²²⁾과 같이 본 실험장치를 간헐폭기법(anoxic/oxic 1시간:1시간)으로 운전한 결과 반응조에서 탈질이 일어났기 때문인 것으로 사료된다. 한편 연속실험 장치인 Run A와 Run C에서도 상기와 비슷한 실험 결과를 얻을 수 있었다.

IV. 결 론

알루미늄의 부식을 조합한 간헐폭기법에서 합성폐수 중의 인 제거를 위하여 회분식 및 연속식 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 알루미늄판만 충전한 경우보다 구리판을 동시에 충전한 반응조에서 인 제거 시간은 빠르나, 알루미늄판만 충전하여도 인 제거가 가능하였다.
2. 알루미늄판 표면적이 클수록, 전해질(NaCl) 농도가 높을수록 인 제거가 증가되었다.
3. 알루미늄판을 간헐폭기법의 반응조내에 설치하여도 COD 및 질소 제거효율에는 영향을 주지 않았으나, 장기간 운전시에는 알루미늄판 표면에 인과의 반응 생성물 및 활성슬러지의 부착으로 인해 인 제거가 감소하였다.
4. 알루미늄판을 간헐폭기법의 후단에 설치한 경우

HRT 3.2시간에서 인 제거효율은 86.3%이었다.

이와 같이 알루미늄판은 반응조내에 설치하는 것보다 반응조 후단에 설치하는 쪽이 인 제거효율이 높음을 알 수 있었다

감사의 글

본 연구는 2000년도 조선대학교 교내 학술 연구비의 지원에 의해 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) 大森英昭：浄化槽に適用された汚水処理技術の變遷と課題, 水環境學會誌, **19**(3), 8~12, 1996.
- 2) 北尾高嶺：小型合併處理浄化槽の開発経緯とその技術, 水環境學會誌, **19**(3), 13~19, 1996.
- 3) 稻森悠平, 須藤隆一：高度處理對應型浄化槽の開発, 水環境學會誌, **19**(3), 20~30, 1996.
- 4) 山本泰弘, 廣野一郎：流量調整自動制御方式嫌氣ろ床・生物ろ過法の實施設におけるBOD, 窒素除去特性の評價解析からみた高度處理能, 第28回日本水環境學會年會講演集, 672~673, 1994.
- 5) 井村正博, 佐藤吉彦, 鈴木榮一, 後藤雅司：流量調整嫌氣好氣循環ろ床方式小型合併浄化槽による高度處理, 浄化槽研究, **6**(1), 23~33, 1994.
- 6) 稻森悠平, 松重一夫, 須藤隆一：嫌氣性條件を組み込んだ小規模合併處理浄化槽における脱窒・脱リン, 用水と廢水, **30**(4), 54~60, 1988.
- 7) Grøterud, O. and Smoczyński, L. : Phosphorus removal from water by means of electrolysis, *Water Res.* **20**(5), 667~669, 1986.
- 8) 宮崎 清, 吉村 廣, 山本 淳, 近藤基一：電氣分解を利用したリンの高度除去, 資源環境對策, **29**(11), 1044~1056, 1993.
- 9) 伊 亨, 吉野常夫 大野 茂, 關 幸雄：アルミニウム接觸材を用いた接觸曝氣法の基礎性能, 用水と廢水, **38**(8), 24~29, 1996.
- 10) 伊 亨, 吉野常夫 大野 茂, 關 幸雄：アルミニウム接觸材を用いた小型合併處理浄化槽の處理性能, 用水と廢水, **38**(9), 24~32, 1996.
- 11) 伊 亨, 吉野常夫 大野 茂, 關 幸雄：アルミニウム接觸材の組みによる既存小型合併浄化槽のリン除去性能向上, 用水と廢水, **38**(12), 27~34, 1996.

- 12) 伊 亨, 島村匡, 山海敏弘, 稻森悠平: 알루미늄 電解法のリン除去特性に及ぼす電解装置の仕様および操作條件の影響, 用水と廢水, **40**(3), 38~44, 1998.
- 13) 황규대, 김민호, 조철휘: 철의 전기분해를 이용한 활성슬러지 공정에서 돈사폐수의 인 제거 및 질산화, 대한환경공학회지, **19**(10), 1333~1344, 1997.
- 14) 정경훈, 최형일, 정오진: 알루미늄의 전기분해를 이용한 오수중의 인 제거, 한국환경위생학회지, **25**, 70~76, 1999.
- 15) 정경훈, 최형일, 정오진, 최칠남, 정재경: 알루미늄의 전기분해를 이용한 인 제거, 한국환경과학회지, **9**, 95~99, 2000.
- 16) 近藤基一, 山本淳, 熊成一男, 松永和義, 森忠繁: 廢アルミニウムを接觸材として用いたリン除去に関する基礎的實驗, 淨化槽研究, **4**(2), 15~21, 1992.
- 17) 近藤基一, 山本淳, 熊成一男, 松永和義, 森忠繁: 好氣ろ床ろ材に廢アルミニウムを用いた硝化液循環方式による有機物, 窒素, リンの同時除去, 淨化槽研究, **8**(2), 3~12, 1996.
- 18) 정경훈, 정오진: 알루미늄의 부식으로 발생한 알루미늄 이온에 의한 인 제거 한국환경과학회지, **8**(6), 705~710, 1999.
- 19) 日本化學會編: 腐蝕と防蝕, 日本圖書, 82, 1987.
- 20) 김종택: 수질오염공정시험법해설, 신광출판사, 서울(1999).
- 21) 임우로, 양락희, 인현만, 이진열: 부식과방식, 원창출판사, 서울(1990).
- 22) Kuba, T. and Van Loosdrecht, M. C. M. : Phosphorus and Nitrogen Removal with Minimal COD requirement by Integration of Denitrifying Dephosphastation and Nitrification in a two-sludge system, *Water Research*, **30**(7), 1702~1710, 1996.