

## FNR process를 이용한 하수처리장의 질소·인의 제거에 관한 연구

조일형·이내현·이승목·김영규<sup>\*\*</sup>

(주)전략엔지니어링 환경부, '관동대학교 환경공학과,' '용인대학교 환경보건학과'

(2006년 1월 23일 접수; 2006년 6월 3일 채택)

### A Study on Nitrogen and Phosphorus Removal in FNR Process

Il-Hyoung Cho, Nae-Hyun Lee, Seung-Mok Lee<sup>\*</sup> and Young-Kyu Kim<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Division of Environment, Strategy Engineering Co., Ltd., Gueonggi 431-817, Korea

<sup>\*</sup>Division of Civil and Environmental Engineering, Kwandong University, Gangwon 210-701, Korea

<sup>\*\*</sup>Department of Environmental Public Health, Yong In University, Gueonggi 449-714, Korea

(Manuscript received 23 January, 2005; accepted 3 June, 2006)

This study make a comparison between the phosphorus removal performance of FNR(Ferrous Nutrient Removal) process and A/O process by the laboratory experiments. For simultaneous removal of phosphorus, iron electrolysis was combined with oxic tank. Iron precipitation reactor on the electrochemical behaviors of phosphorus in the iron bed. The phosphorus removal in FNR process was more than A/O process. Iron salts produced by iron electrolysis might help to remove COD and nitrogen. And the demanded longer SRT is the more removes the removes COD, nitrogen, and phosphorus. Also, FNR process of sludge quantity more reduce than A/O process to input cohesive agents.

Key Words : FNR process, A/O process, Nitrogen, Phosphorus, Iron precipitation reactor

### 1. 서 론

국내에서 가동 중인 대부분의 하수처리시설은 표준화설설리지 공법이나 그 변법들이 주종을 이루고 있고 이들의 영양염류의 제거효율은 약 20%이하로서 점차 강화되는 수질기준을 만족시키기 위해서는 법적 방류수 수질기준에 부합하기 위해서는 고도처리공법의 도입이 불가피한 실정이다<sup>1)</sup>. 하지만 현재 영양염류의 제거를 위하여 개발된 대부분의 처리공법들은 생물학적 처리공법으로써 이미 오래 전에 외국에서 검증된 바 있는 A<sub>2</sub>/O 공정<sup>2,3)</sup>, UCT 공정<sup>4,5)</sup>, VIP 공정<sup>6,7)</sup> 등이 있으나, 이들 공정들은 국내에서는 잘 적용되지 못하고 있는데, 그 이유는 국내의 하수 배제 방식이 대부분 합류식으로 되어 있어 외국의 하수 원수에 비해 유기물질의 농도는 낮은 반면 질소의 농도는 오히려 높은 하수 원수의 특성 때

문인 것으로 판단된다<sup>8)</sup>. 우리나라의 경우 생활오수의 경우 약 78%는 하수처리구역 내에서 발생하고 있으나, 하수관거 정비 미흡, 하수처리시설의 시설 용량 부족 등으로 인하여 실제 하수처리시설로 처리되는 생활오수량은 이보다 적을 것으로 추정되며, 읍·면 단위 등의 소규모 지역에서 발생하는 생활 하수와 축산폐수는 하·폐수처리시설의 미비, 혹은 부재로 인해 수계로 바로 배출되고 있는 실정이다<sup>9)</sup>. 따라서 우리나라의 하수처리에도 적합하며, 새로 신설되는 소규모 하·폐수처리시설에서 활성슬러지법으로 운전 중인 대규모 처리시설에 이르기까지 쉽게 적용할 수 있는 현장적용성과 운영의 편이성이 높은 고도처리기술의 개발이 요구되고 있는 실정이다.

일반적으로 화학적 처리방법인 경우 안정적인 수질의 만족시키기 위해서는 화학약품 비용 및 슬러지 발생량의 증가에 따른 처리비용이 매우 높으며, 이러한 단점을 보완하기 위하여 생물학적 고도처리방법을 적용하고 있으나 생물학적 고도처리방법인 경우 유입수 중의 유기물과 영양염류의 농도에 따라 처리효율에 큰 영향을 받고 있으며, 이에 활성미

Corresponding Author : Young-Kyu Kim, Department of Environmental Public Health, Yong In University, Gueonggi 449-714, Korea

Phone: +82-31-330-2886

E-mail: envinet1004@hanmail.net

생물에 의한 영양염류 제거율의 신뢰도가 낮은 편이다<sup>10)</sup>. 또한 생물학적 고도처리방법을 운전하는 과정에서 많은 문제점을 내포하고 있으므로, 강화된 수질기준을 만족시키며, 특히 염양염류 제거가 우수 하며, 향후 강화 예정인 법적 병류수 수질기준에 능동적으로 대처할 수 있는 처리공정을 개발하여야 할 것이다<sup>11,12)</sup>. 본 연구에서 제안하는 FNR(Ferrous Nutrient Removal)공법은 무산소조, 호기조로 구성된 생물반응조에서 질산화 및 탈질작용에 의한 질소제거와, 철석출장치 내에 철을 용출시켜 인과 결합하여 인을 제거하는 기술로써 유입수 중의 유기물과 영양염류 농도에 관계없이 영양염류를 제거할 수 있으며, 기존의 A<sub>2</sub>O공법에 비하여 협기조가 없으므로 운전이 간단하며, 설비의 감소로 유지관리비 절감 및 공정의 자동화로 최적의 공정관리를 유지할 수 있는 장점이 있다.

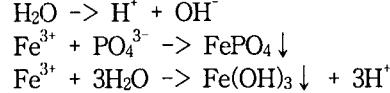
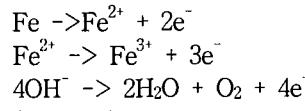
따라서 본 연구에서는 질소는 생물학적인 처리방법으로 처리방법과 인은 철석출장치를 통하여 처리하는 FNR공법의 운전특성 및 SRT에 따른 인제거율을 조사와 함께 슬러지 발생량을 비교함으로써 FNR공법의 운전 최적화에 따른 기초 설계인자 및 적용가능성을 제공하고자하였다.

## 2. 실험방법 및 이론

### 2.1. FNR 공법의 개발배경 및 이론

현재 질소·인 제거를 위한 여러 가지 처리공법이 개발되어 있는데 대부분의 공법들은 생물학적인 질소·인 제거공법이므로 국내 하수특성상 대부분의 하수처리장에서 낮은 C/N비로 인하여 적용이 어려운 실정이다. 또한, 생물학적 인제거에 있어서도 협기조에서 인의 용출을 위해 유기물이 사용되어 실질적으로 탈질에 이용되는 유기물의 양이 적어지며, 질산화미생물의 washout을 막기 위해 SRT를 길게 유지하여 운전함으로 생물학적인 인 제거방식과 상충되는 관계에 놓이게 되는 문제점을 내포하게 된다. 따라서 새로 신설되는 소규모 하·폐수처리시설 및 활성슬러지법으로 운전 중인 대규모 처리시설에 이르기까지 쉽게 적용할 수 있는 기술이 필요하게 되었다. FNR 공법은 무산소조, 호기조로 구성된 생물반응조의 질산화·탈질작용에 의한 질소제거와 호기조에 구성된 철석출장치 내에 철염을 용출시킴으로써 인과 결합하여 인을 동시에 제거함으로써 기존의 BNR 공법의 문제점을 능동적으로 대처할 수 있다.

철석출장치에 장착된 철판 표면에 직류전류를 통하게 하여 계속적으로 철을 석출시키는 전기화학적 산화법으로 철 전극을 사용하였을 때의 금속 수산화물 생성 메커니즘은 다음과 같다.



위의 (1)과 (2)의 반응을 통하여 생성된 철염과 반응조 내 인은 철산화물에 흡착 제거되는 것을 알 수 있다. 따라서 생물학적 인 제거에 비하여 빠른 인 처리속도 및 인의 농도에 관계없이 처리가 가능하다.

### 2.2. 실험방법 및 분석방법

각 공정별 운전조건은 협기-호기공정으로 호기조 내에 철석출장치를 구성하였으며, 철석출장치를 호기조에 구성한 3개의 FNR 반응조와 철판을 투입하지 않은 조건에서 운전한 1개의 반응조로 구성하였다. 모든 반응조는 HRT 12시간과 SRT 3일을 유지하였다. 협기조의 경우 공기주입은 하지 않고 교반만을 이용하여 혼합시켜 유기물질과 미생물간의 접촉을 원활하게 하였다. 대기로부터 산소가 녹아 들어가는 것을 최대한 방지하기 위해 교반강도를 적절히 조절했으며 이어지는 호기성 조건은 송풍기로 공기를 공급하여 용존산소 농도가 반응조내에 항상 2mg/L 이상을 유지하였다. 또한 철석출장치의 경우 반응조에 투입된 철판을 양극과 음극을 24시간마다 교대로 사용하여 음극의 철표면에 scale이 형성되어 철산화물의 석출속도가 저하되는 현상을 예방하여 양쪽 철판표면 모두에서 계속적으로 철이 석출되도록 하였다.

각 성분의 분석은 충분한 질소·인의 제거가 확인되고 정상상태에 도달된 다음 이루어졌고, 각 반응기내의 시료 채취는 1일마다 채취하였다. 시료 채취 후 즉시 pore size가 0.2 μm 인 membrane filter로 여과하여 시료 내 존재하는 미생물을 완전히 제거한 다음 분석에 들어갔다. MLSS, MLVSS, NH<sub>3</sub>-N, PO<sub>4</sub>-P는 Standard Methods<sup>5)</sup>에 따라 측정하였고, COD<sub>Mn</sub>의 측정은 수질오염공정시험방법에 따라 실험하였다. 용존산소 (Dissolved Oxygen, DO) 농도와 pH는 실시간 자동 측정기 (Inolab Multi-Parameter Level 3)를 사용하여 분석하였으며, 총철은 AAS(Model Z8100)으로 분석하였다.

### 2.3. 실험장치

전압이 일정하게 유지된 조건에서 철판의 단위 표면적당 인부하량에 따른 인제거율을 조사하기 위한

실험은 (Fig. 1)에서 나타낸 것과 같다. 아크릴로 제작된 실험실 규모의 연속식 A/O 반응조를 이용하였으며, 무산소조와 호기조, 침전조의 용량은 각각 5.8, 8.4, 6.6L였다. 본 실험을 위하여 총 3대의 반응조를 이용하였고, 호기조 내 DO농도는 2.0~4.0 mg/L의 범위로 유지하였다. 이때, 각 반응조 내로 투입된 철판전극에 흐르는 전압은 모두 6V였으며, 철판의 직경은 10mm인 것을 사용하였으며, 철판의 간격은 20mm였다. 반응조에 유입되는 유입원수는 J하수처리장의 유입수를 이용하였으며, 유기물 및 영양염류의 농도를 조정하기 위하여 인산이수소칼륨( $\text{KH}_2\text{PO}_4$ ), glucose( $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ )와 질산암모늄( $\text{NH}_4\text{NO}_3$ )을 이용하여 조제하였다.

반응조의 슬러지는 J하수처리장의 반송슬러지를 사용하여 식종하였으며, 슬러지의 적응을 위하여 실험초기에는 회분식으로 각 반응조에 일정량의 유입수를 주입한 후 호기성상태를 유지시켜 주었으며, 만족할 만한 유기물의 제거율을 확인한 후 연속식으로 전환하였다. 이때, 연속식 실험초기에는 유기물질의 충격부하를 줄이기 위해 매우 작은 유량을 각 반응조에 주입하였으며, 유입수와 유출수의 용해성 유기물( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ )의 농도를 측정하여 일정 유기물의 제거를 확인한 후, 점차적으로 유입수의 양을 증가시켜 정상상태에서 실험을 실시하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1. FNR 공법에 의한 질소·인제거효율

Test 1 실험의 반응조에 사용된 철판의 유효표면적을 각각 50cm<sup>2</sup>로 하여 3개의 반응조 내에 투입하였고, 한 반응조에는 철판을 투입하지 않은 조건으로 운전하여 철판이 투입된 반응조들의 인과 유기물질의 제거율을 비교하기 위한 대조군으로 운전하였다. 각 반응조의 수리학적체류시간(HRT)과 고형물체류시간(SRT)의 운전조건은 8시간, 6일로 하였다.

유입수의 인농도는 철판이 투입된 반응조 No.1,

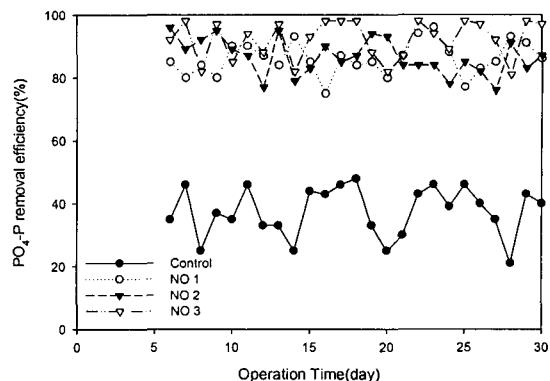


Fig. 2. Variation of  $\text{PO}_4\text{-P}$  removal efficiency of influent in FNR Test-1.

No.2, No.3에  $\text{KH}_2\text{PO}_4$ 의 투여량을 조절하여 각각 41.8mg/l, 29.3mg/l, 20.7mg/l 등으로 유지하도록 하였으며, 철판이 투입되지 않은 대조 반응조 No.4의 유입수 인 농도는 20.7mg/l가 되도록 하였다. 용해성 인의 평균제거율은 Fig. 2에서처럼, 인부하량이 가장 낮은 반응조 No.3에서 92.9%로 가장 높았으며, 이때 반응조 내 철의 평균농도는 79.4mg/l이었다.

유기물(COD)의 평균 제거율은 Fig. 3에서처럼,

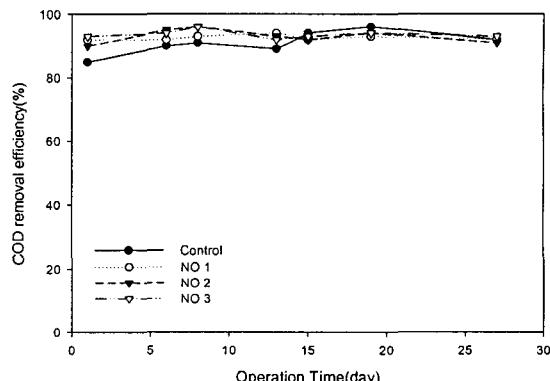


Fig. 3. Variation of COD removal efficiency of influent in FNR Test-1.

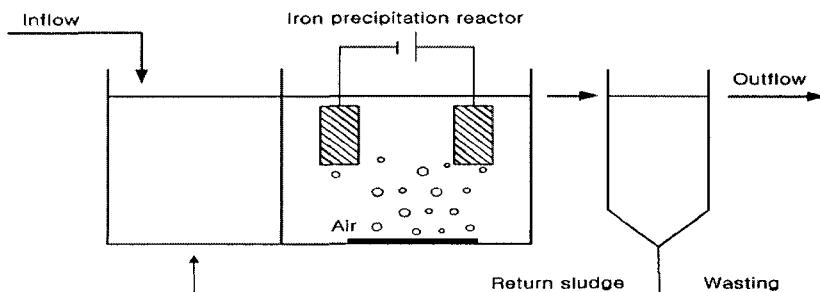


Fig. 1. Schematic diagram of FNR Process used in this study.

철판을 투입하지 않은 반응조에서 86.6% 이상을 보여주었고, 철판을 투입한 반응조에서도 92.3~93.3% 이상의 제거율을 보여주었다. 이것은 철판을 투입한 반응조에서 석출된 철산화물의 작용에 의해 유기물 제거율이 증가하는 것으로 나타났다. 철판을 투입한 반응조에서 유기물(COD)의 처리수 농도는 철의 총 농도가 약 54.3~79.4mgFe/l인 범위에서 약 15.3~19.4mgCOD/l로 유지되어 대조 반응조의 30.4mg COD/l 농도보다 낮았다. 이것은 활성 미생물에 의한 기질제거율이 철판에서 석출된 철산화물의 작용에 의해 오히려 증가될 수 있다는 것을 보여주었다.

Test 1 반응조에 유입된 평균 COD/NH<sub>3</sub>-N비와 NH<sub>3</sub>-N의 농도는 위의 Table 1에 나타낸 바와 같이, 각각 약 5.6, 40.8mg/l이었고, 반응조에 유입된 NH<sub>3</sub>-N 용적부하량은 약 0.12kgNH<sub>3</sub>-N/m<sup>3</sup>·day로 높게 유지하였다. 철판이 투입된 반응조들의 총 철농도는 평균 54.3~79.4mgFe/l이었고, 산화철의 영향으로 반응조 No.1~No.3의 평균 MLVSS 농도는 각각 2,210~2,300mg/l로 유지되었다. 반면에, 철판을 투입하지 않은 반응조 No.4(control)에서는 MLVSS 농도가 2,640mg/l로 매우 높게 유지되었고, 이때 MLVSS/MLSS 비는 0.83로 높은 상태로 운전되었다. Test 1 반응조의 NH<sub>3</sub>-N 평균 제거율은 위의 Fig.4에서 철판을 투입한 반응조에서는 각각 94.1~95.6%의 제거율을 보여주었고, 철판을 투입하지 않은 대조 반응조에서는 91.2%의 효율을 보여주었다. 이때, 처리수중 NH<sub>3</sub>-N의 평균농도는 철판을 투입한 반응조에서 각각 약 2.0mgNH<sub>3</sub>-N/l의 농도범위로 유출되었고, 대조반응조에서는 3.6mgNH<sub>3</sub>-N/l를 보여주었다. NO<sub>3</sub>-N의 방류수 농도는 5.9~7.2mg/l로 철판을 투입한 반응조와 대조군 모두 탈질이 잘 이루어지고 있음을 간접적으로 알 수 있다. 이러한 결과는 질산화물과 마찬가지로 질소제거율

Table 1. Operating conditions and removal efficiency in FNR-Test 1

| Parameters  | No.1                | No.2  | No.3  | No.4  |
|---|---------------------|-------|-------|-------|
| Effective surface area of iron (cm <sup>2</sup> ) | 50                  | 50    | 50    | -     |
| Quantity (l/day)                                  | 43                  | 43    | 43    | 43    |
| COD (mg/l)  | Inf. COD            | 151.3 | 151.3 | 151.3 |
|   | Eff. COD            | 12.3  | 13.1  | 12.8  |
|   | R.E. (%)            | 91.9  | 91.3  | 91.5  |
| PO <sub>4</sub> -P                                | Effluent            | 3.4   | 3.1   | 2.4   |
|   | R.E. (%)            | 83.2  | 84.7  | 88.1  |
|   | Influent            | 20.6  | 20.6  | 20.6  |
| NH <sub>3</sub> -N (mg/l)                         | Effluent            | 2.7   | 2.2   | 1.3   |
|   | R.E. (%)            | 86.9  | 89.3  | 93.7  |
|   | F/M (kgCOD/kgMLVSS) | 0.296 | 0.298 | 0.309 |
| Total Fe (mg/l)                                   | 54.3                | 61.2  | 79.4  | -     |
| OUR mgO <sub>2</sub> /mg VSSr·hr                  | 0.019               | 0.018 | 0.021 | 0.023 |
| MLVSS (mg/l)                                      | 2,300               | 2,290 | 2,210 | 2,640 |
| MLSS (mg/l)                                       | 3,180               | 3,080 | 3,120 | 3,170 |
| MLVSS/MLSS Ratio                                  | 0.72                | 0.74  | 0.71  | 0.83  |
| SVI (mg/l)  | 75                  | 84    | 96    | 120   |
| HRT(hr)/SRT(day)                                  | 8/6                 | 8/6   | 8/6   | 8/6   |

도 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

### 3.2. SRT에 따른 인제거 영향

석출된 철산화물이 포함된 슬러지의 체류시간이 인과 기질제거율 및 슬러지 생산량에 미치는 영향을 조사하기 위하여 Test 2로 운전하였다. 철판이 투입된 반응조 No.1, No.2, No.3의 SRT는 각각 3일, 6일, 9일로 유지하였으며, 각 반응조의 HRT는 모두 8시간으로 유지하였다.

철판이 투입되지 않은 대조반응조의 SRT와 HRT는 각각 9일과 8시간으로 유지하였다. 유입수중 인의 농도는 KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>을 투여하여 약 20mg/l로 조절하였고, 유입되는 COD와 용해성 NH<sub>3</sub>-N의 농도는 각각 151.3mg/l와 20.6mg/l이었다. 운전결과는 Table 2에 나타내었다. 실험운전 결과의 F/M비는 철판을 투입한 FNR 반응조에서 각각 0.181, 0.194, 0.199kg COD/kgMLVSS · day이었고, 이때, 철판을 투입하지 않은 대조 반응조에서는 0.174kgCOD/kgMLVSS · day이었다. 용해성 인의 평균 제거율은 아래의 그림에서처럼, 철을 투입한 반응조에서 83~88%의 범위를 보였으며, SRT가 3일, 6일, 9일로 유지된 경우에 각각 83%, 85%, 88% 등으로 나타났고, 철판을 투입하지 않은 대조반응조 No.4의 평균 인제거율은 약 24%였다.

SRT가 증가할수록 인제거율이 높은 원인은 SRT가 3, 6, 9일로 증가됨에 따라 석출된 철산화물이 반

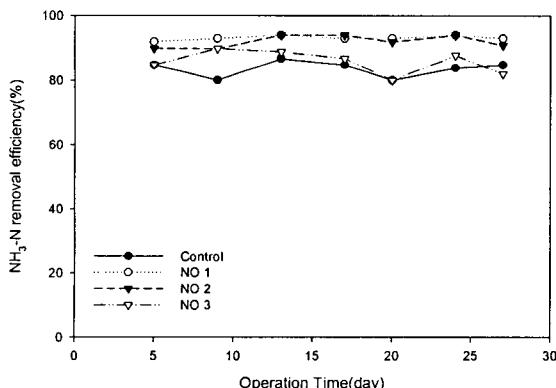


Fig. 4 Variation of NH<sub>3</sub>-N removal efficiency of influent in FNR Test-1.

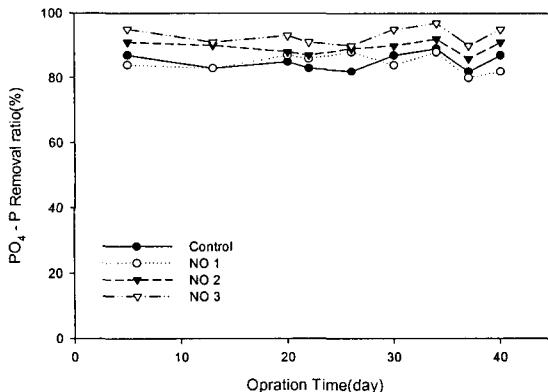


Fig. 5. PO<sub>4</sub>-P removal efficiency for FNR Test-2; Relation of SRT.

응조에 오래 머무르기 때문에 MLSS의 농도 중 철의 총 농도가 반응조 No.1, No.2, No.3에서 각각 21.7mg/ℓ, 30.9mg/ℓ, 42.7mg/ℓ로 유지된 결과이다. 이러한 차이 때문에 반응조의 SRT가 증가할수록 석출된 철 1mg당 제거된 평균 용해성 인의 양은 0.77mgPO<sub>4</sub>-P/mg Fe, 0.55mgP/mgFe, 및 0.42mgP/mgFe로 나타났다. 이러한 결과는 SRT가 9일인 반응조가 SRT가 3일인 반응조 보다 석출된 철산화물당 제거된 인의 양이 적게 나타나 철입자의 비표면적이 효과적으로 반응하지 않은 것을 보여주었다 (Fig. 5).

Table 2. Operating conditions and removal efficiency in FNR-Test 2

| Parameters  | No.1                | No.2  | No.3  | No.4  |
|---|---------------------|-------|-------|-------|
| Effective surface area of iron (cm <sup>2</sup> ) | 25                  | 25    | 25    | -     |
| P Loading (mg/ℓ)                                  | 20.2                | 20.2  | 20.2  | 20.2  |
| Quantity (ℓ/day)                                  | 43                  | 43    | 43    | 43    |
| COD (mg/ℓ)  | Inf. COD            | 151.3 | 151.3 | 151.3 |
|   | Eff. COD            | 12.3  | 13.1  | 12.8  |
|   | R.E. (%)            | 91.9  | 91.3  | 91.5  |
| PO <sub>4</sub> -P                                | Effluent            | 3.4   | 3.1   | 2.4   |
|   | R.E. (%)            | 83.2  | 84.7  | 88.1  |
|   | Influent            | 20.6  | 20.6  | 20.6  |
| NH <sub>3</sub> -N (mg/ℓ)                         | Effluent            | 2.7   | 2.2   | 1.3   |
|   | R.E. (%)            | 86.9  | 89.3  | 93.7  |
|   | F/M (kgCOD/kgMLVSS) | 0.181 | 0.194 | 0.199 |
| Total Fe (mg/ℓ)                                   | 21.7                | 30.9  | 42.7  | -     |
| OUR mgO <sub>2</sub> /mg VSSr·hr                  | 0.020               | 0.021 | 0.018 | 0.022 |
| MLVSS (mg/ℓ)                                      | 2,510               | 2,340 | 2,280 | 2,610 |
| MLSS (mg/ℓ)                                       | 3,200               | 3,170 | 3,180 | 3,210 |
| MLVSS/MLSS Ratio                                  | 0.78                | 0.74  | 0.72  | 0.81  |
| SVI (mg/ℓ)  | 94                  | 104   | 119   | 140   |
| HRT(hr)/SRT(day)                                  | 8/3                 | 8/6   | 8/9   | 8/9   |

### 3.3. 슬러지 침전특성 및 생산량

슬러지의 침전특성을 분석하는 슬러지 용적지수(SVI)는 호기조에서 성장한 활성미생물이 2차 침전지에서의 침강·농축성을 나타내는 지표로서 호기조 혼합액 1ℓ를 30분 침장시킨 후 1g의 MLSS가 슬러지로 형성 시 차지하는 부피(ml)를 말한다. 고형물 체류시간(SRT)은 식 1와 같이 나타낼 수 있다.

$$1/SRT = Y(TCOD<sub>i</sub> - SCOD<sub>e</sub>)/(X.T) - Kd \quad (1)$$

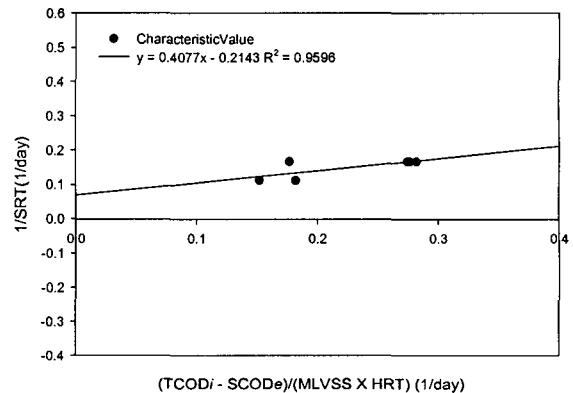


Fig. 6. Design parameter in FNR process.

식 (1)에 대입하여 철판을 투입한 반응조에서 활성미생물에 의한 유기물 합성계수(Y)와 분해속도계수(Kd)는 각각 0.408mgMLVSS/mgCOD at removal 과 0.214일<sup>-1</sup>로 산정되었고, 이때의 상관계수도 96%로 매우 우수한 상관성을 보여주었다(Fig. 6). 이러한 동역학적 상수와 반응조 내 미생물의 고형물 체류시간(SRT)을 고려한 실제 유기물 합성계수(Yobs)는 식 (2)에 의하여 산출하였다. 이때, 활성미생물에 의해 생성되는 유기물만의 합성계수(Yobs)는 SRT를 3일, 6일, 9일로 유지된 반응조에서 각각 0.248, 0.178, 0.139mgMLVSS/제거된mgCOD로 나타났다. 그러나 철판을 투입한 반응조에서 생성되는 실제 슬러지 발생양은 1일 석출된 철의 양을 포함한 무기슬러지량에 의해 증가되기 때문에 식 (3)에 따라, 1일 슬러지의 생산량을 계산하였다.

Test 2 반응조의 경우 석출된 철산화물은 MLSS 농도 중 무기슬러지의 농도를 증가시켜 대조반응조에 비해 잔류무기물(MLFSS)의 농도가 증가하는 경

$$Yobs = Y/(1 + Kd · SRT) \quad (2)$$

$$\Delta X = Yobs(TCOD<sub>i</sub> - SCOD<sub>e</sub>) · Qi + SSF \quad (3)$$

$$\Delta X = \text{슬러지 발생량, mg/day}$$

$$SSFe = \text{무기 슬러지 발생량, mg/day}$$

Table 3. SS removal and operation parameter in FNR process

| Parameters  | Test 1 |       |       |       | Test 2 |       |       |       |
|---|--------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|
|   | No.1   | No.2  | No.3  | No.4  | No.1   | No.2  | No.3  | No.4  |
| Effective surface area of iron (cm <sup>2</sup> ) | 50     | 50    | 50    | -     | 25     | 25    | 25    | -     |
| Total Fe (mg/l)                                   | 54.3   | 61.2  | 79.4  | -     | 21.7   | 30.9  | 42.7  | -     |
| TSS (mg/l)  | Inf.   | 123   | 123   | 123   | 138    | 138   | 138   | 138   |
| (Eff.)  | 7.6    | 7.8   | 8.7   | 12.1  | 7.8    | 8.1   | 9.3   | 13.7  |
| R.E.%   | 93.8   | 93.7  | 92.9  | 90.2  | 94.3   | 94.1  | 93.3  | 90.1  |
| SVI(mL/g)   | 75     | 84    | 96    | 120   | 94     | 104   | 119   | 140   |
| MLVSS (mg/l)                                      | 2,300  | 2,290 | 2,210 | 2,640 | 2,510  | 2,340 | 2,280 | 2,610 |
| MLSS (mg/l)                                       | 3,180  | 3,080 | 3,120 | 3,170 | 3,200  | 3,170 | 3,170 | 3,210 |
| MLVSS/MLSS Ratio                                  | 0.72   | 0.74  | 0.71  | 0.83  | 0.78   | 0.74  | 0.72  | 0.81  |

향을 관찰할 수 있었다. 철판을 투입한 반응조 내 무기슬러지의 농도(FSS)에서 철판을 투입하지 않은 대조반응조의 무기슬러지를 빼어 준다면, SRT를 3일로 유지한 반응조에서 철산화물에 의해 증가된 무기슬러지의 농도는 94.1mg/l로 나타나며, 6일과 9일로 유지한 반응조에서도 같은 방법에 의해 철산화물에 의해 증가된 무기슬러지의 농도는 각각 214.3mg/l, 280.5mg/l로 산출되었다. 그러므로 철을 투입하여 운전한 SRT를 3일, 6일, 9일로 유지한 14.3ℓ의 반응조에서 1일 슬러지의 발생양( $\Delta X$ )은 식 3에 적용하여 산출하였다. 일반적으로 A/O 공정에서 인을 제거하기 위하여 알루미늄염(alum) 등의 화학약품을 사용하였을 경우 인의 농도에 따라 차이가 있겠지만 1일 폐기하는 슬러지의 양은 알루미늄을 투입하지 않은 경우보다 약 2배 이상 증가되는 것으로 알려져 있다.

처리수 중 불용성 인을 화학적 처리로 약 80%로 제거 시 필요한 철염과 알루미늄염에 의한 1일 이론적 슬러지량은 약 2,700mg/day Fe(OH)<sub>3</sub>로 FNR 공정에서 SRT를 3일로 운전한 슬러지 발생량보다 약 776mg/day, SRT를 6일로 운전했을 때보다 1,136mg/day, SRT를 9일로 운전했을 때보다 1,430mg/day 적게 발생하는 것을 알 수 있다(Fig. 7).

이것은 FeCl<sub>3</sub> 등의 응집제로 사용하는 화학공정에서 1일 생성되는 슬러지가 철판을 반응조에 투입하여 철을 석출하는 FNR 처리공정에 비하여 슬러지량이 높게 생성될 수 있다는 것을 보여주었다. 그러므로 철의 유효표면적당 인부하량에 알맞은 철판

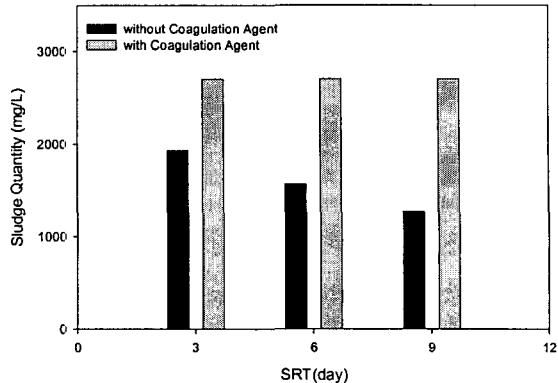


Fig. 7. Effect of SRT on sludge quantity in FNR process.

을 식 (3)에 의해 산출하여 투입한 FNR 공정에서는 철염 등의 화학약품을 사용하는 처리공정보다 생성되는 슬러지의 발생량이 비교적 적은 상태에서 용해성 인을 효과적으로 제거할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 질소는 생물학적인 처리방법으로 처리방법과 인은 철석출장치를 통하여 처리하는 FNR공법의 운전특성 및 SRT에 따른 인제거율을 조사와 함께 슬러지 발생량을 비교함으로써 FNR공법의 운전 최적화에 따른 기초 설계인자 및 적용가능성을 제공하고자하였다.

1) 유기물의 평균 제거율은 철판을 투입하지 않은 반응조에서 86.6% 이상을 보여주었고, 철판을 투입한 반응조에서도 92.3~93.3% 이상의 제거율을 보여주었다. 이것은 철판을 투입한 반응조에서 석출된 철산화물의 작용에 의해 유기물 제거율이 증가하는 것으로 나타났다.

2) NH<sub>3</sub>-N 평균 제거율은 철판을 투입한 반응조에서는 각각 94.1~95.6%의 제거율을 보여주었고, 철판을 투입하지 않은 대조 반응조에서는 91.2%의 효율을 보여주었으며, 질산화물과 마찬가지로 질소 제거율도 높게 나타나고 있음을 알 수 있다.

3) 철의 전기분해 작용에 의해 용해성 인의 제거율을 증가시키기 위해서는 인의 부하량이 낮은 반응조에서 인제거효율이 가장 높게 나타났으며, 철판을 투입하지 않는 반응조에 비하여 철판을 투입한 반응조의 인제거효율이 더 높은 것으로 관찰되었다.

4) 석출된 철산화물이 포함된 슬러지의 체류시간이 인과 기질제거율 및 슬러지 생산량에 미치는 영향을 조사한 결과 유기물과 NH<sub>3</sub>-N의 철산화물의 영향에 의한 제거율은 SRT가 증가할수록 증가하는 것을 확인 할 수 있었으며, 인의 경우 철산화물이

존재할 경우 제거율은 SRT가 증가할수록 증가하였으며, 철산화물이 존재하지 않을 경우보다 약 60%의 제거효율이 증가하였다.

5) FNR 공정에서는 철염 등의 화학약품을 사용하는 처리공정보다 생성되는 슬러지의 발생량이 비교적 적은 상태에서 용해성 인을 효과적으로 제거 할 수 있다.

### 참 고 문 헌

- 1) Choi, E. S., H. S. Lee, M. G. Park and Y. S. Chang, 1995, Selection of nutrient removal process for low strength municipal wastewater, Proc. 5th IAWQ Asia Conference on Water Quality and Pollution Control, pp.382-397.
- 2) 환경부, 2002, 환경백서, pp.526-535.
- 3) 신항식, 박홍식, 1990, 메디아를 함유한 연속 회분식 반응기를 이용한 폐수처리(I), 대한환경공학회, 12(3), 73-82.
- 4) Woolard, C. R., 1997, The advantages of periodically operated biofilm reactors for the treatment of highly variable wastewater, Wat. Sci. Tech., 35(1), 199-206.
- 5) APHA, AWWA and WPCF, 1985, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th ed., Washington D.C., USA, pp.92-100.
- 6) Hu, Z., R. A. Ferraina, J. F. Ericson, A. A. MacKay and B. F. Smets, 2005, Biomass characteristics in three sequencing batch reactors treating a wastewater containing synthetic organic chemicals, Wat. Res., 39, 710-720.
- 7) Wilderer, P. A., P. Arnz and E. Arnold, 2000, Application of biofilms and biofilm support materials as a temporary sink and source, Water Air Soil Pollut., 123(1-4), 147-158.
- 8) Lee, D. S., C. O. Jeon and J. M. Park, 2001, Bioblical nitrogen removal with enhanced phosphate uptake in a sequencing batch reactor using single sludge system, Wat. Res., 35(16), 3968-3976.
- 9) Kishida, N., J. H. Kim, M. Chen, H. Sasaki and R. Sudo, 2003, Effectiveness of oxidation-reduction potential and pH as monitoring and control parameters for nitrogen removal in swine wastewater treatment by sequencing batch reactors, J. Biosci. Bioeng., 96(3), 285-290.
- 10) 황규대, 김민호, 조철휘, 1997, 철의 전기분해를 이용한 활성슬러지 공정에서 돈사폐수의 인 제거 및 질산화, 대한환경공학회, 19(10), 1333-1344.
- 11) 한국과학기술연구원, 1993, 소규모 축산폐수 처리장치 개발, 16(1), 92-102.
- 12) 황규대, 김복현, 1994, 활성슬러지공정에서 철의 전기분해를 이용한 탈인에 관한 연구, 한국수질보전학회지, 10(4), 412-420.