

## 간헐폭기 활성슬러지공정에서 C/N비와 질소제거의 관계

서인석 · 김병군 · 이상일\*

한국수자원공사 수자원연구소 상하수도연구팀 · 충북대학교 환경공학과\*

### Relationship Between C/N Ratio and Nitrogen Removal in Intermittently Aerated Activated Sludge System

In-Seok Seo · Byung-Goon Kim · Sang-Il Lee\*

Water Resources Research Institute, Korea Water Resources Corporation, Taejon, Korea  
Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, Cheong-ju, Korea\*

#### ABSTRACT

In this research, Effect of C/N ratio on nutrient removal in intermittently aerated activated sludge system(IAASS) was investigated with dormitory, building and swine wastewater. Three types(2-stage, 4-stage, modified) of IAASS were operated. Time interval of aeration/nonaeration in IAASS was 1hr/1hr. In treatment of Dormitory wastewater(BOD/T-N ratio : 4.4), Building wastewater(BOD/T-N ratio : 3.14) and swine wastewater(BOD/T-N ratio : 3.84), Nitrogen removal efficiency of 80, 70 and 90.4% was achieved, respectively.

Nitrogen removal in IAASS was a great influenced on influent C/N ratio. efficient nitrogen removal was achieved at BOD/T-N ratio over 4. In IAASS operation,  $\Delta$ BOD mg/L/ $\Delta$ nitrogen mg/L ratio was about 4~6.

Simultaneous removal of organic, nitrogen and phosphorus in IAASS can achieved. And influent organic was efficiently utilized in denitrification. IAASS could be one of the best alternative process for the retrofit of conventional activated sludge system for the removal of nutrients.

**Key Word** : Intermittent aeration, nitrogen, C/N ratio, Biological Nutrient Removal

#### I. 서 론

우리나라의 하수처리방법은 대부분이 표준활성슬러지법으로 운영되고 있다. 그러나 이러한 방법은 유기물 제거에는 효과적이거나 질소 및 인을 효과적으로 처리하기에는 부적절한 방법이다. 더욱

이 1996년부터 하·폐수처리장의 방류수 수질기준에 질소 및 인이 추가됨으로서 처리의 중요성이 인식되었으나, 우리나라 하·폐수처리장의 유입수 성상으로 볼 때, 총질소 60mg/L, 총인 8mg/L의 방류기준보다 낮게 유입되는 곳이 대부분으로 기준의 강화가 불가피한 실정이다. 특히, 댐상류나 상수원보호지역의 경우에는 오염물질의 유입이 상

수원의 오염과 직결되기 때문에 선진국 수준까지 강화가 시급한 실정이다. 우리나라 하수처리장 유입수의 경우, 유기물의 농도가 상대적으로 낮아 즉, C/N비가 낮아 기존의 활성슬러지 공정에서 질소 및 인을 처리하기 위해 BNR(Biological Nutrient Removal)공정으로 변형하여 운영하여도 효율적인 T-N 제거를 얻기는 어렵다. 최근 많은 연구자들이 이러한 점을 인지하여 유입수 중의 유기물을 최대한 이용하여 효율을 향상시키기 위해 유입수의 주입방법 및 폭기조의 운영방법을 개선하는 연구가 활발하게 진행되고 있다.<sup>1,2)</sup>

간헐폭기 활성슬러지 공정은 유입수중의 유기물을 질소 및 인 제거과정에서 효율적으로 활용하고 기존의 활성슬러지 공정에서 공기공급장치의 ON/OFF에 의해 적용이 용이한 운영방법으로 기존공정에서 질소의 효율증진을 위한 방법으로 많이 적용하였으며 효율도 우수한 것으로 보고 되고 있다. New York에 있는 Owego 하수처리장 및 Washinton D.C.에 있는 Blue Plains 하수처리장에서 간헐폭기를 적용한 결과, 80% 이상의 총질소 제거효율을 얻었으며,<sup>3,4)</sup> Oxiditch 형태의 간헐폭기 운영인 Schreiber 공정의 적용에 있어서도 효율이 우수한 결과로 나타났다.<sup>5)</sup> 간헐폭기의 개념은 기존의 SBR 시스템에서도 적용한 예가 많다.<sup>6)</sup> USEPA<sup>5)</sup>에서는 간헐폭기 형태의 운영에 있어서 중요한 설계 및 운영인자로서 폭기/비폭기시간, SRT 및 유입수중의 BOD/TKN의 비율을 지적하고 있다.

생물학적으로 질소 및 인을 처리하는 공정에서 영양염류의 제거효율은 운영방법 및 유입수의 특성에 따라 크게 영향을 받으며, 특히 탈질산화 과정과 인방출 과정에서 사용하는 유기물의 종류는 생물학적으로 분해가 쉬운 유기물(readily biodegradable COD)로서 이의 농도가 처리효율을 크게 좌우하게 된다. Ekama등에 의하면 도시하수의 경우 1mg/L의 질산성 질소를 질소가스로 탈질산화시키기 위해서는 8.6mg/L의 하수중의 COD가 필요하다고 보고하였으며, 유출수 중의 총인(T-P) 농도를 1mg/L 이하로 유지하기 위해서는 유입수 중의 BOD/T-P의 비율이 최소한 20이상 되어야 하며, 1mg/L의 인을 제거하기 위해서는 하수중의

COD가 약 50~59mg/L가 소모된다고 하였다.<sup>7)</sup>

본 연구에서는 기존 활성슬러지공정에 쉽게 적용하여 유기물, 질소 및 인을 동시에 효과적으로 제거할 수 있는 간헐폭기 활성슬러지공정을 이용하여 생활오수, 빌딩오수 및 양돈폐수 처리시 유입수 중의 C/N비가 질소 제거효율에 미치는 영향을 검토하여 간헐폭기 활성슬러지 시스템에서 C/N 비와 질소제거효율간의 관계를 규명하였다.

## II. 실험재료 및 방법

### 1. 폐수의 성상

본 연구에서 사용한 폐수는 생활오수, 빌딩오수 및 양돈폐수였으며, 각각의 유입수 특성은 Table 1.과 같다. 생활오수는 C대학의 기숙사에서 발생하는 오수를 사용하였으며, 빌딩오수는 한국수자원공사 본사사옥의 식당에서 배출되는 오수를 채취하여 사용하였다. 또한 양돈폐수는 C시의 C고등학교 목장에서 채취하여 사용하였다.

### 2. 간헐폭기 활성슬러지 시스템

본 연구에는 여러 가지 형태의 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 실험하였다. 생활오수 및 빌딩오수를 처리하기 위해 2단 간헐폭기 활성슬러지공정과 간헐폭기 활성슬러지공정을 변형하여 혐기성-간헐폭기조-호기성조로 구성한 MIAP(Modified Intermittent Aeration Process,)를 운영하였다. 또한, 양돈폐수를 처리하기 위해 2단 및 4단 간헐폭

Table 1. Characteristics of wastewater used in this research (Units:mg/L)

Items	Dormitory wastewater	Building wastewater	Swine wastewater
CODcr	257	161~470	2,700~3,500
BOD	151	74~200	1,262~1500
T-N	34	26~50	152~380
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	32.8	12.3~40	40~150
T-P	4.1	3.2~4.4	-
PO <sub>4</sub> <sup>4-</sup> -P	3.1	1.7~3.1	12~60
BOD/T-N	4.44	1.3~5.78	3.84~9.62

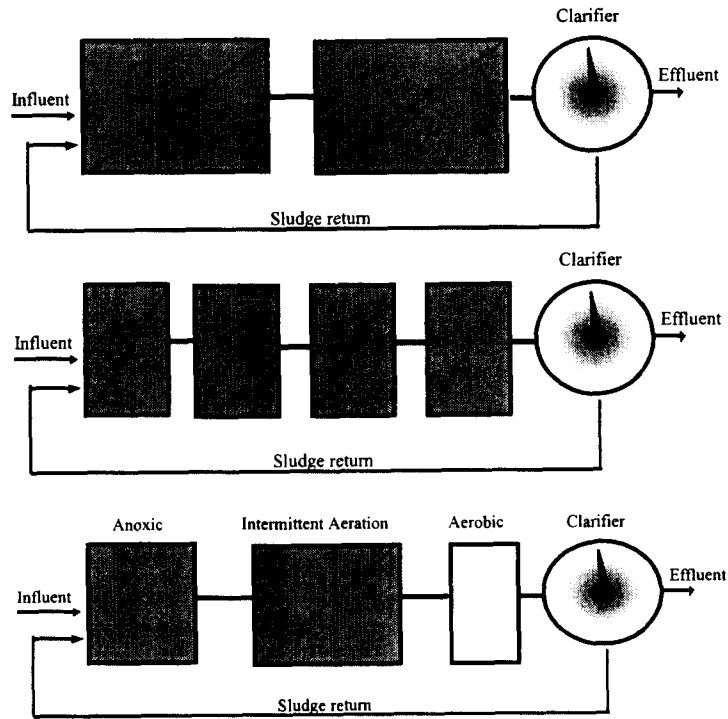


Fig. 1. Schematic diagram of intermittently aerated activated sludge system (Top : 2-stage, Middle : 4-stage, Bottom : modified)

기 활성슬러지공정을 운영하였다(Fig. 1).

2단 간헐폭기 활성슬러지공정은 23L 용량의 반응조 두개를 직렬로 배치하였으며, 4단 간헐폭기 활성슬러지공정은 10L 용량의 반응조 4개를 직렬로 배치하였다.

본 연구에서는 MIAP 공정을 lab scale 실험과 pilot scale 규모로 제작하여 운영하였다. 본 연구에 사용된 pilot plant는 혐기성(Anaerobic)조, 간헐폭기(Intermittent Aeration, IA)조, 호기성(Oxic)조, 침전조(Settler)의 순으로 이루어져 있으며 침전조를 제외한 각각의 반응조 크기는 148.6L, 542.5L, 75.5L로 전체 용적은 766.6L이었다. 빌딩 오수 중의 식당에서 배출되는 주방오수를 유입수로 이용하였기 때문에 10m<sup>3</sup> 규모의 저류조를 유량 조정조로 이용하였다.

### 3. 실험방법

생활오수 및 빌딩오수 처리를 위한 2단 간헐폭기 활성슬러지공정과 변형 간헐폭기 활성슬러지공정

(MIAP)은 SRT 15일, 수리학적 체류시간(HRT) 8 시간으로 유지하여 실험을 수행하였으며, 양돈폐수를 처리하기 위한 2단 및 4단 간헐폭기 활성슬러지공정은 HRT 24시간, SRT 20일로 하여 운영하였다.

모든 실험에 있어서 간헐폭기 반응조의 폭기 및 비폭기 시간은 각각 1시간으로 고정하여 운영하였으며, 폭기시에는 용존산소의 농도가 약 2~3mg/L로 유지되게 하였다. 유입수 중의 BOD/T-N의 비율에 따른 질소제거효율의 영향을 파악하기 위해 양돈폐수의 경우, 인위적으로 BOD/T-N 비율을 증가시키면서 실험을 수행하였다.

모든 실험에 있어 오수 유입 및 반송은 정량 펌프를 이용하였고, 슬러지 반송량은 유입량의 100%를 유지하였다. SRT를 유지하기 위한 슬러지 폐기는 2 및 4단 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 경우, 마지막 반응조의 폭기시간에 행하였으며, MIAP의 경우에는 호기성 반응조에서 행하였다. 시스템이 정상상태에 도달한 후 시료를 채취하여 분석하였으며, 채취된 시료는 standard method

(18th eds.)<sup>8)</sup>에 의거하여 분석하였다.

### III. 실험결과 및 고찰

#### 1. 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 운영결과

##### 1.1 생활(기숙사)오수의 처리

본 연구에서는 2단 간헐폭기 활성슬러지공정에 유입 BOD 151mg/L, T-N 34mg/L인 생활오수를 유입하고 폭기 및 비폭기 시간을 각각 1시간, HRT 10시간, SRT 15일로 운전한 결과, 유출수 중의 BOD 및 T-N의 농도는 각각 6.1과 6.96mg/L로서 BOD제거효율은 96%이며, T-N 제거효율은 80%로 높은 처리효율을 나타내었다. 특히, BOD/T-N비가 4.44로서 우리나라 하수처리장 유입수에 비해서는 상대적으로 유기물 농도가 높고 질소농도가 낮아 80%정도의 높은 처리효율을 나타내었다.

##### 1.2 빌딩오수의 처리

본 연구에서 빌딩오수는 주방에서 배출되는 주방오수를 대상으로 BOD/T-N의 비율을 2.84~5.78로 변화시켜 변형 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 운영하였다. 평균 유입 BOD농도는 74mg/L이었으나, 인위적으로 Glucose를 첨가하여 BOD/T-N의 비율을 조정하며 실험을 행하였다. SRT는 15일, HRT는 8시간, 반송량을 유입수의 100%로 하여 bench scale 규모로 운영한 MIAP공정에서 BOD/T-N비가 2.84인 경우, BOD의 제거효율은 92%, T-N의 제거율은 폭기/비폭기시간이 1시간/1시간으로 운전시 67.7%이었다. 이때, TKN의 제거효율은 90%정도로 질산화는 잘 일어났으나, 탈질산화시 유기물이 부족하여 질소가 완전하게 제거되지 못하였다. 따라서, 인위적으로 BOD/T-N의 비율을 5.78로 증가시켜 운영한 결과, CODcr 및 BOD의 제거효율은 95% 정도로 높게 나타났으며, 질소의 제거효율도 90.6%로 크게 증진되었다.

Pilot plant 규모로 실험한 MIAP 공정의 경우, BOD/T-N 비율이 3.14인 빌딩오수를 처리한 실험 결과, MLSS농도는 평균 3000mg/L 정도를 유지하였다. TCODcr 제거효율은 80%로 나타났으며, 유

출수의 평균 BOD농도는 6mg/L로써 90%이상의 높은 BOD제거율을 나타내었다. SS 제거효율은 전반적으로 평균 95% 이상의 양호한 제거율을 보였으나, 유출수 중의 T-N의 농도는 약 8mg/L로써 약 70%의 질소제거율은 BOD/T-N의 비율이 2.84인 bench scale 실험결과와 유사하였다.

##### 1.3 양돈폐수의 처리

양돈폐수의 CODcr, T-N 및  $PO_4^{3-}$ -P의 평균농도를 각각 3,000, 220 및 23mg/L로 유입하고, 폭기 및 비폭기 시간을 각각 1시간으로 운영한 2단 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 운영결과, 반응조 내의 MLSS 및 MLVSS의 농도는 시스템이 정상상태에 도달 후 제 1반응조에서 각각 8,000mg/L 및 6,200mg/L 이었다. 2단 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 운전기간중 측정된 MLSS 및 MLVSS의 농도는 제1반응조에서 약간 높게 측정되었으며, MLVSS/MLSS의 비율은 평균 0.83 이었다. 유입된 TKN의 loading rate는 0.22kgN/m<sup>3</sup>-day 이었으며, 시스템이 정상상태에 도달한 후, 유출수의 TKN 및  $NH_4^+$ -N의 평균농도는 각각 15 및 0.7mg/L로 TKN의 제거효율은 93.2% 이었으며, 총질소(T-N)의 평균 제거효율은 90.9% 이었다.

4단 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 운영시 유입수중의 BOD/T-N 비율에 따른 질소효율과의 관계를 검토하기 위해 비율을 3.84~9.62로 변화시키면서 실험을 수행한 결과, Total CODcr의 평균 제거효율은 90%이상의 안정적인 제거효율을 보였으며, 부하량에 따른 COD 제거효율의 차이는 크게 없었다. 유입수의 BOD/T-N의 비율이 각각 9.62, 6.36, 4.72, 4.18, 3.84 일 때, 총질소의 제거효율은 각각 95.5%, 93%, 91.5%, 90.4%, 85%로 나타났다.

#### 2. 간헐폭기 활성슬러지시스템에서 BOD/T-N비와 총질소 제거효율의 관계

생활(기숙사)오수, 빌딩오수 및 축산폐수를 처리하기 위해 2단, 4단 및 변형간헐폭기 활성슬러지 시스템을 운영한 후 유입수의 BOD/T-N 비율과 질소제거효율과의 관계를 구한 것이 Fig. 2.와

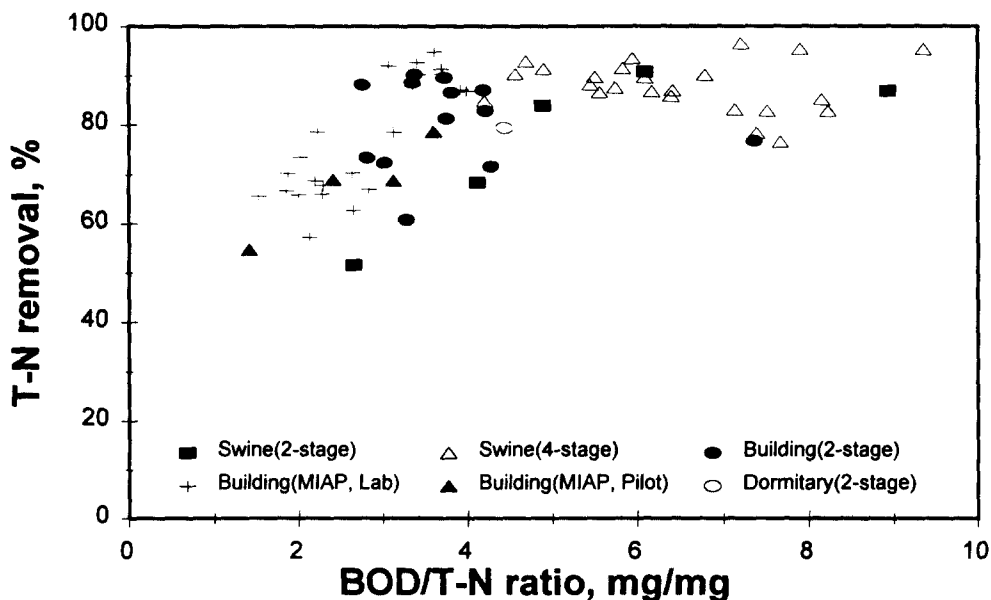


Fig. 2. Relationship between BOD/T-N ratio and T-N removal in intermittently aerated activated sludge system.

같다. 본 연구에서는 3가지 폐수를 대상으로 유입수의 BOD/T-N의 비율을 1.3~9.62까지 실험을 수행하였다. 본 연구의 결과에 의하면 폐수의 특성에 따라 약간의 차이는 있으나, 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 운영시 유입수의 BOD/T-N의 비율에 따라 총질소 제거효율은 큰 영향을 받는 것으로 나타났다. 유입수의 BOD/T-N 비율이 2정도 일때는 총질소 제거효율이 65%정도의 수준이며, 4 이상인 경우, 총질소의 제거효율이 80%이상의 높은 제거효율을 얻을 수 있는 것으로 나타났으며, 이를 유입수의 TCODcr/T-N 비율로 나타내면 폐수의 종류에 따라 약간 차이를 보이고 있으나, 본 연구에서 유입수로 사용한 생활 및 빌딩오수의 경우, 6.8~8.4의 범위로 약 7.5 정도인 것으로 나타났다.

상기 세가지 형태의 유입수와 시스템의 운영결과를 이용하여 제거된 BOD와 T-N의 관계를 도식한 것이 Fig. 3이다. Fig. 3에서 보듯이 제거된 BOD와 제거된 T-N은 거의 비례관계를 나타내고 있다. 1mg/L의 질소를 제거하기 위해서는 BOD가 약 4~6mg/L 정도, 즉 BOD제거량/T-N제거량

$$\left( \frac{\Delta BOD}{\Delta T-N} \text{ 또는 } \frac{BOD_{in\text{fluent}} - BOD_{effluent}}{T-N_{in\text{fluent}} - T-N_{effluent}} \right) \text{이}$$

4~6정도인 것으로 나타났다. 이는 유입수중의 BOD/T-N의 비율이 약 4정도에서 80% 정도의 제거효율을 얻는 결과와 비교해 볼 때, 거의 일치하는 것으로 나타나 제거되는 BOD의 상당량이 질소제거 기작중 탈질산화 과정에 효과적으로 이용되었다는 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 간헐폭기 형태로 운영한 다른 연구자들의 연구결과를 종합하여 C/N 비율에 따른 영향을 검토하여 비교하였다. 하수 및 양돈폐수중의 질소 및 인을 처리하기 위해 간헐폭기 형태로 시스템을 운영한 다른 연구자들의 결과는 Fig. 4와 같다. Oxidation ditch에서의 간헐폭기식 운영 및 2단 간헐폭기등의 운영에서도 유입수 중의 BOD/T-N 비율이 4정도 유지된 경우, 80% 이상의 총질소 제거효율을 얻을 수 있는 것으로 나타나, 본 연구의 결과와 거의 일치하며, 폭기조내의 산소공급을 주기적으로 ON/OFF 시켜서 운영하는 간헐폭기 활성슬러지 시스템은 기존의 활성슬러지 공정에서 특별한 시설의 변경 없이 손쉽게 적용이 가능할 것으로 판단된다.

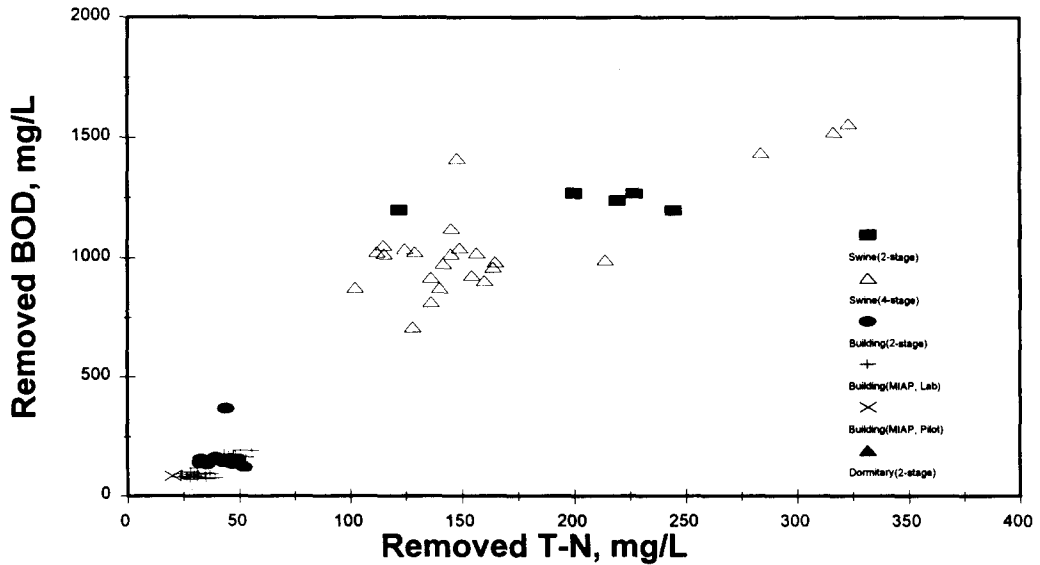


Fig. 3. Relationship between removed T-N and removed BOD in intermittently aerated activated sludge system.

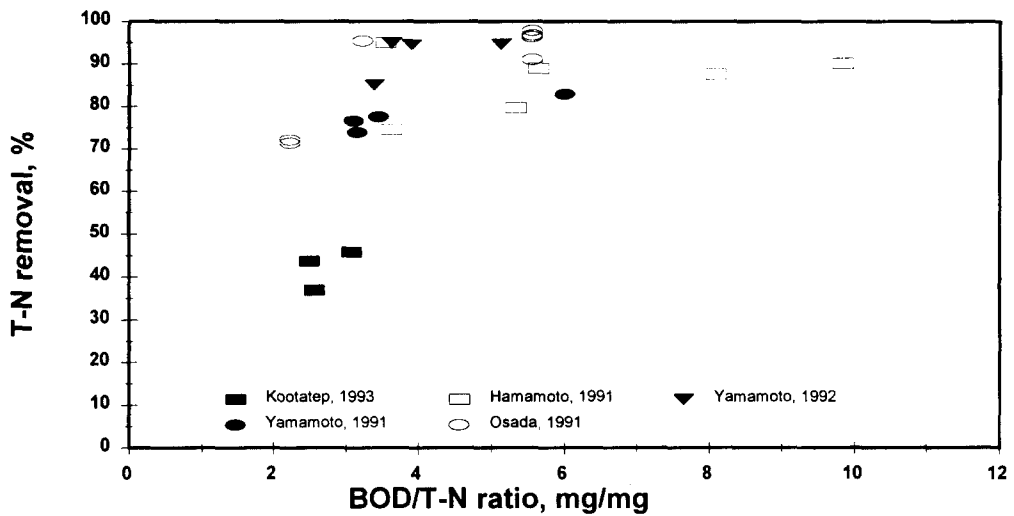


Fig. 4. Relationship between BOD/T-N ratio and T-N removal in intermittently aerated activated sludge system

- Kootatep<sup>9)</sup>: Domestic wastewater, Aeration/nonaeration time(12hr/12hr))
- Hamamoto<sup>10)</sup>: Domestic wastewater, Aeration/nonaeration(1hr/1hr, 2hr/2hr))
- Yamamoto<sup>11),12)</sup>: Aeration/nonaeration(60min/45min, 30min/90min)
- Osada<sup>13)</sup>: Swine wastewater, Aeration/nonaeration(1hr/1hr)

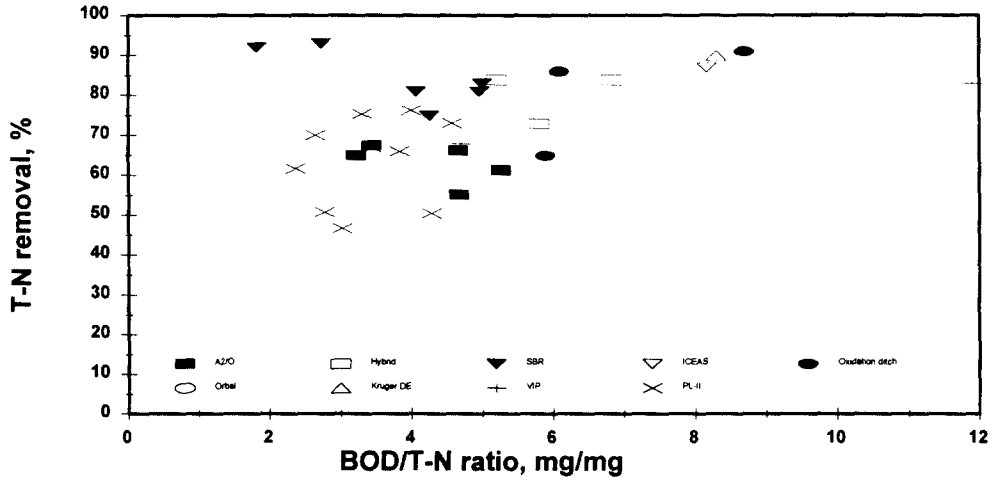


Fig. 5. Relationship between BOD/T-N ratio and T-N removal in other nutrient removal system(A<sup>2</sup>O<sup>14</sup>), Hybrid<sup>15</sup>), SBR<sup>6</sup>), ICEAS<sup>6</sup>), Oxidation ditch<sup>16), 17)</sup>, Orbal<sup>18</sup>), Kruger DE<sup>19</sup>), VIP<sup>20</sup>), PL-II<sup>21</sup>)

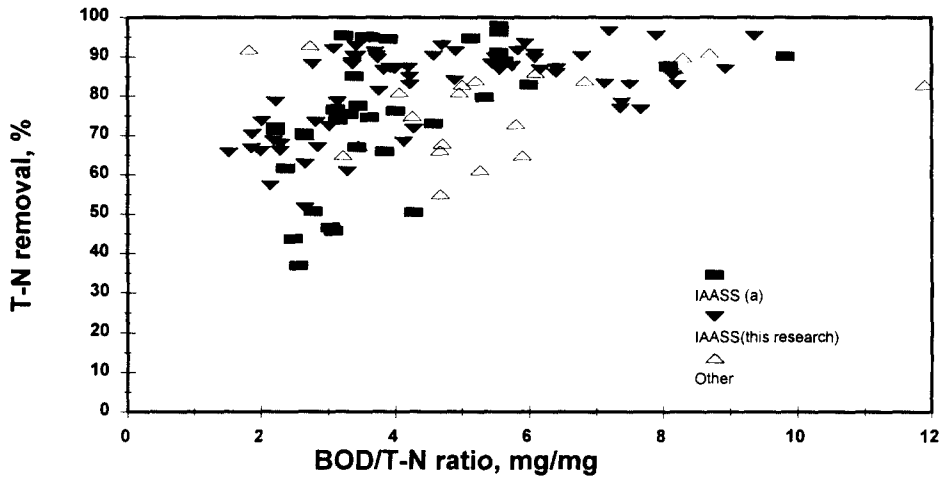


Fig. 6. Effect of BOD/T-N on nitrogen removal in nutrient removal system.

- IAASS(a) : Results of other research in Intermittently aerated activated sludge system
- IAASS(this) : Results of this research in Intermittently aerated activated sludge system
- Other : Results of other research in other single-sludge activated sludge system

본 연구에서 수행한 간헐폭기 활성슬러지 시스템에서의 C/N 비의 영향과 기존에 많이 이용되고

있는 공정과 비교하기 위해 A<sup>2</sup>O 공정을 비롯한 single-sludge process 및 SBR등에서 C/N 비의

영향을 조사하였으며, 결과는 Fig. 5와 같다. 방법에 따라 차이는 있으나, 일반적인 single-sludge system에서는 본 연구의 결과 및 다른 연구자들의 간헐폭기 형태의 운영에서보다 효과적이지 못한 것으로 나타났다. Single-sludge system의 경우, 80% 정도의 총질소 제거효율을 얻기 위해서는 약 5~6배 이상의 BOD/T-N 비율이 유지되어야 하는 것으로 나타났다. 그러나 SBR 형태의 운영에서는 간헐폭기 형태의 운영과 비슷하거나 우수한 것으로 나타나, 유입된 유기물을 질소제거에 가장 효율적으로 이용할 수 있는 공정으로 나타났다.

본 연구에서 실험한 간헐폭기 활성슬러지 시스템, 다른 연구자들의 간헐폭기 활성슬러지 시스템 운영결과 및 다른 연구자들의 single-sludge 형태의 BNR공정 운영결과를 근거로 유입수중의 BOD/T-N 비율에 따른 총질소 제거효율을 종합한 결과는 Fig. 6과 같다. 그림에서도 알 수 있듯이 SBR을 비롯한 간헐폭기 형태의 운영이 질소제거 효율 측면에서 효과적이며, 유입수의 유기물 성분을 질소제거 기작에 효율적으로 사용하는 것으로 나타나, 기존 공정에서 질소제거를 위한 변형시 유용하게 활용할 수 있는 방법이 될 것으로 판단된다.

#### IV. 결 론

간헐폭기 활성슬러지 시스템을 이용한 영양염류의 처리효율 평가 및 유입수중의 C/N비가 질소 제거효율에 미치는 영향을 검토한 본 연구에서는 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 생활오수(기숙사), 빌딩오수(식당오수) 및 양돈폐수를 처리하기 위해 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 운영한 결과, 각 폐수의 유입수 BOD/T-N 비율이 각각 4.4, 3.14 및 3.84에서 질소 제거효율은 각각 80, 70 및 90.4%를 나타냈다.
2. 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 적용시에도 다른 BNR 공정과 같이 유입수중의 C/N 비율에 크게 영향을 받는 것으로 나타났으며, 80% 이상의 안정적인 질소제거 효율을 얻

기 위해서는 유입수중의 BOD/T-N의 비율이 4 이상 되어야 한다.

3. 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 운영시, 1mg/L의 질소를 제거하는 과정에서 전체적으로 약 5mg/L의 BOD가 소모되는 것으로 나타났다.
4. 간헐폭기 활성슬러지 시스템과 다른 BNR 공정을 비교한 결과, 간헐폭기 활성슬러지 공정이 유입수의 유기물을 보다 효과적으로 질소제거에 사용하는 것으로 나타났다.
5. 간헐폭기 활성슬러지 시스템은 하나의 반응조내에서 공기의 공급을 ON/OFF는 방식으로 우리나라 실정에서 기존에 있는 활성슬러지시스템에 시설의 변경없이 적용이 용이할 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. 서인석, 이상일: 2단 간헐폭기 활성슬러지 시스템에서 영양염류 제거특성 및 예측모델의 검증, 대한환경공학회지, 제19권 1호, 1997.
2. 이원호: 다단 간헐폭기 활성슬러지 시스템에 의한 유기물, 질소, 인의 동시처리, 충북대학교 박사학위논문, 1997.
3. Bishop, D.F., J.A. Heidman and J.B. Stamberg: Single stage nitrification-denitrification, JWPCF., 48(3), 520-532, 1976.
4. Schwinn, D.E., D.F. Storrier and D.G. Thome: Full-scale operation of a single-stage nitrification-denitrification plant, EPA/600/12-77/088, Cincinnati, OH., 1977.
5. U.S. EPA: Manual-nitrogen control, EPA/625/R-93/010, Cincinnati, OH., 1993.
6. Henderson and Bodwell Consulting Engineers, "Sequencing batch reactor wastewater treatment system", Plainview, NY., 1990.
7. Ekama, G.A and G.v.R. Marais: Biological Nitrogen Removal in Theory, Design and Operation of Nutrient removal Activated



- sludge Processed, Water Research Commission, Published by the Water Research Commission, Pretoria, 1984.
8. APHA, AWWA, WEF: Standard methods for the examination of water and wastewater, 18th eds., 1992.
  9. Kottatep, S., C. Leesanga and H. Araki: Intermittent aeration for nitrogen removal in small aerated lagoon, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 28, No. 10, 335-341, 1993.
  10. Yoichi Hamamoto and Hideich Nonaka: Intermittent aeration activated sludge process by aeration time controller, *公害と對策*, Vol. 27, No. 9, 1991.
  11. Yasuji Yamamoto, Kazushi Tsumura and Hitoshi Nakano: Two stage intermittently aerated activated sludge system for simultaneous removal of nitrogen and phosphorus, *水環境學會誌*, 第5卷 8号, 541-553, 1992.
  12. Nakoto Yamamoto and Tatsuya Uchida: Nitrogen removal system using intermittent aeration process, *公害と對策*, Vol. 27, No. 11, 1991.
  13. Takashi Osada, Kiyonori Haga and Yasuo Harada: Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process, *Water Research*, Vol. 25, No. 11, 1377-1388, 1991.
  14. 홍전선, 서정범, 윤조희, 유덕희, 김용석, 유재근, 서운수: 파이롯트 규모의 혐기/무산소/호기공법에 의한 오수처리, *한국수질보전학회지*, 제12권 4호, 425-433, 1996.
  15. N. Matsche and D. Moser: Operation of a two-stage activated sludge package plant for high efficiency treatment, *Water Sci. Tech.* Vol. 28, No. 10, 299-307, 1993.
  16. Matsche, N.F. and G. Spatzierer: Austrian plant knocks out nitrogen, *Water and Was. Eng.*, 12(1), 19-24, 1975.
  17. Rittman, B.E. and W.E. Langeland: Simultaneous denitrification with nitrification in single-channel oxidation ditch, *JWPCF*, 57(4), 300-308, 1985.
  18. Drews R.J.L.C. and A.M. Greef: Nitrogen elimination by rapid alternation of aerobic/anoxic conditions in "Orbal" activated sludge plants, *Water Research*, 7: 1183-1194, 1973.
  19. Nocross, K.L.: Sequencing batch reactors: an overview, *Proceedings of the 6th annual Kansas Engineering Conference*, Lawrence, K.S., 1986.
  20. Daiger, G.T., G.D. waltrip, E.D. Romm and I.M Morales: Enhanced secondary treatment incorporating biological nutrient removal, *JWPCF*, 60(10): 1833-1842, 1988.
  21. 풍림산업: 생물학적 인·질소 동시제거장치 및 공법(PL-II공법), 1998.