

A₂O공정에서의 섬모상 담체 사용 유무에 따른 하수의 질소·인 제거에 관한 연구

박태진[†] · 이정민 · 송경석 · 조일형 · 김영규* · 정문호

서울대학교 보건대학원
*용인대학교 환경보건학과

A Study on the Removal of Nitrogen and Phosphorus Depending on Existence of Cilia Media in Sewage in Anaerobic-Anoxic-Oxic Process

Tae Jin Park[†], Chong Min Lee, Kyung Seok Song, Il Hyoung Cho
Young Kyu Kim* and Moon Ho Chung

Graduate School of Public Health, Seoul National University
*Department of Environmental Public Health, Yong In University
(Received 26 July 2000 ; Accepted 3 September 2000)

ABSTRACT

This study was carried out to investigate the removal of nitrogen and phosphorus in municipal sewage according to the variation of volumetric ratio in the reactor. It also was performed to provide basic data necessary to the development and improvement of the process which is Anaerobic-Anoxic-Oxic(A₂O). In the removal of BOD and COD, the best efficiency of the process showed in the condition of using the media, 1Q of internal recycle rate and 1:3:2 of the volumetric ratio in Anaerobic-Anoxic-Oxic process. In most cases, nitrogen and phosphorus removal efficiency of the process using the cilia media was superior to that of the process which didn't use the media. In the removal of T-N and T-P, the best efficiency of the process showed in the condition of using the media, 1Q of internal recycle rate and 1:3:2 of the volumetric ratio in Anaerobic-Anoxic-Oxic process.

Keyword : Anaerobic-Anoxic-Oxic process(A₂O process), Cilia media, Internal recycle, Volumetric ratio

I. 서 론

인구증가 및 국민생활수준의 향상과 더불어 오수 발생량도 매년 증가하고 있으며, 1997년 말 현재 전국의 생활오수 발생량은 약 16273천 m³/일에 이르고 있으며, 이 중 67%인 10879천톤은 하구처리구역 내에서 발생하고 있으나, 하수관거 정비미흡, 하수종말처리시설의 시설용량 부족 등으로 인하여 실제 하수종말처리 시설로 유입 처리되는 생활 오수량은 이보다 적은 것으로 추정된다. 오수 발생량은 상수급수량과 밀접한 관계가 있으며, 오수의 수질상태는 생활수준과 관계가 있다.¹⁾ 최근들어 하수중에 함유된 질소, 인과 같은 부영

양화 유발물질이 하천으로 방류되어 도심지역 뿐만 아니라 도심 변두리지역에서 생태균형을 파괴하는 등 환경문제를 야기하고 수질의 악화를 초래하고 있다.²⁾ 따라서 하수의 고도처리는 방류된 하수가 유입되는 하천이나 수체(water bodies)의 보호를 위해서 중요하다 하겠다. 특히, 재래식 활성슬러지 공법으로는 제거가 되지 않는 질소, 인에 대한 고도처리가 절실히 요구되고 있다.³⁾ 질소, 인제거를 위한 고도처리방법에는 Anaerobic-Anoxic-Oxic(A₂O), SBR (sequencing batch reactor), 그리고 단일탱크타입의 Anaerobic-Aerobic 활성슬러지 공법, Phostrip, Anoxic-Oxic 공법, P/L 공법 등이 있다.⁴⁾ 이러한 생물학적 공법들은 물리·화학적 공법들 보다 경제적이고 환경친화적으로 질소와 인을 제거할 수 있고 기존 하수처리장에 추가적으로 혐기조등을 설치함으로써 용이하게 생물학적인 질소·인 제거 공정으로 전환이 가능하며⁵⁾ 또한 부지면적이나 비용을

[†]Corresponding author : Graduate School of Public Health, Seoul National University
Tel: 02-740-8881, Fax: 02-745-9104
E-mail: tjpark61@hanmail.net

절약하기 위한 일환으로 공간 확장을 하지 않고도 영양염류를 제거할 수 있다는 장점⁶⁾등으로 인해 그 이용이 증가하고 있는 추세이다. 본 연구에서는 혐기-무산소-호기공정에 섬모상 담체의 사용 유무, 내부반송비 및 용적비를 변화시키는 과정에서 어떤 조건에서 가장 높은 질소, 인 제거율을 보이는지 조사해 보았다.

II. 실험장치 및 방법

1. 실험장치

실험에 사용된 담체를 사용하지 않은 A₂O공정과 섬모상 담체를 이용한 A₂O공정의 구성은 Fig. 1과 Fig. 2에서와 같이 혐기조(anaerobic tank), 무산소조(anoxic tank), 호기조(oxic tank) 그리고 침전조(clarifier)로 구성되었다. A₂O공정에서 혐기조, 무산소조, 호기조의 용적은 각각 96 L, 80 L, 220 L였고, 섬모상 담체를 이용한 A₂O공정에서 혐기조, 무산소조, 폭기조의 용적은 각각 212 L, 208 L, 544 L(184 L + 360 L)였다. 또한 최

종침전조에서 인출한 슬러지 0.5Q(Q: 유입유량)를 혐기조로 외부반송시켰고, 호기조에서 무산소조로 1Q~2Q 내부반송시켰다.

2. 운전 방법

본 연구에서는 반응조를 J 하수종말처리장에 설치하고, 섬모상 담체를 충전시키지 않은 A₂O공정과 섬모상 담체를 충전시킨 A₂O 공정의 영양염류의 제거특성을 연구하기 위하여 실시하였다. 반응조 설치 후 반응조 내 미생물들의 안정화를 위해서 약 2주간 안정화기간을 취하였고, 실험기간 중 공정을 바꾸는 과정에서도 안정화 기간을 두었다. 생물학적 영양염 제거 공정에서 유입유량을 기준으로 하는 내부반송비와 슬러지 반송을 위한 외부반송비는 두 공정 모두, 외부반송비는 고정하여 실험하였고, 내부반송비는 1Q와 2Q로 변화를 주며 실험하였다. 또한 담체를 사용하지 않은 경우와 담체를 사용한 경우, 모두 혐기조, 무산소조의 경우, 혼합을 위해 교반기를 사용하였고, 담체를 사용한 반응조에

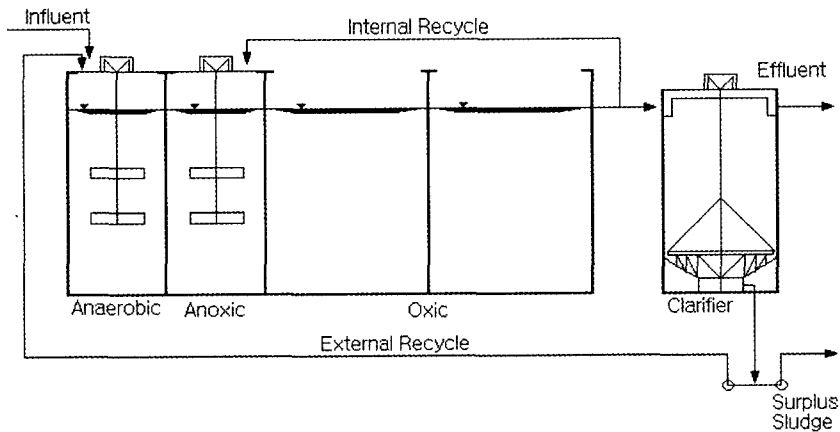


Fig. 1. Schematic diagram of Anaerobic-Anoxic-Oxic process.

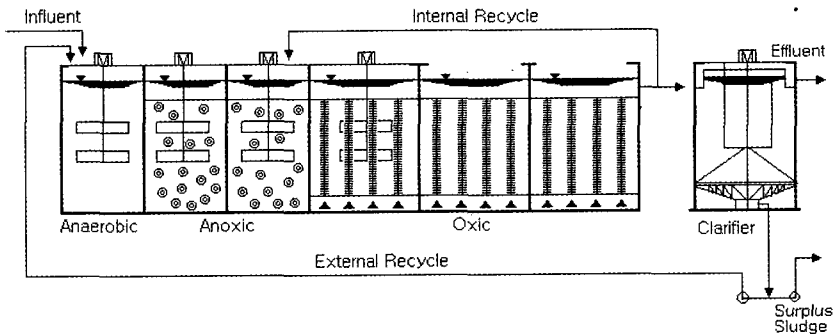


Fig. 2. Schematic diagram of Anaerobic-Anoxic-Oxic process using the fixed and floating media.

Table 1. Internal recycle and volumetric rate according to each condition

Process	Condition	Internal Recycle	Volumetric Rate*
A ₂ O process without media	A	1Q	1:1:2
	B	2Q	1:1:2
	C	1Q	1:1.5:1.5
A ₂ O process with media	X	1Q	1:2:3
	Y	2Q	1:2:3
	Z	1Q	1:3:2

*Volumetric Rate of Anaerobic : Anoxic : Oxidic.

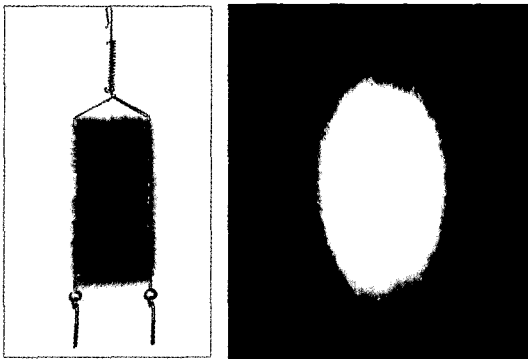


Fig. 3. The photos of the shape of fixed media(left) in oxic reactor and floating media(right) in anoxic reactor.

서, 무산소조에 유동상담체를, 호기조에 고정상담체를 설치하였다. 본 연구에서는 산소가 존재하지 않는 조를 혐기조와 무산소조를 따로 분리하여 실험을 행하였는데, 그 이유는 이들 각 반응조의 특성에 따른 메카니즘이 서로 다르기 때문이다.

(1) 운전조건

담체를 사용하지 않은 A₂O 공정을 이용한 조건 A, B, C는 1일 처리용량이 약 1.4 m³으로 수리학적 체류시간(HRT)을 6시간으로 고정하여 수행하였으며, A₂O 공정 중 무산소조와 호기조에 섬모상 담체를 사용한 A₂O 공정 X, Y, Z는 1일 처리용량이 약 4.3 m³으로 체류시간을 6시간으로 수행하였다. 각 조건들에 대한 세부사항은 Table 1에 나타내었다.

(2) 섬모상 담체 성장

본 실험에 사용된 담체는 화학환경에서 자체 개발한 제품유동상 섬모상⁷⁾으로 특허출원중이며, 이 담체는 반응조에서 비표면적을 증가시켜 다종다량의 미생물 부착이 가능하여 질산화, 탈질효율 및 인제거율을 높일 수 있다. 본 실험에서는 무산소조에 유동상 담체를 사용하였고, 폭기조에서는 고정상 담체를 넣어 실험을 실시하였다. 실험에 사용된 담체에 대한 형태 및 모양,

Table 2. Characteristics of fixed media in aerobic reactor and floating media in anoxic reactor

	Fixed media	Floating media
Material	polyethylene and polypropylene	polyethylene and polypropylene
Specific gravity	1.2	0.90~0.92
Intensity	650.2(kg/20 cm)	-
Specific surface area	-	1260 m ² /m ³
Durability	good	good
Size	50 mm(W)×500 mm(H)×2	15 mm
Media packing ratio	10%	10%
Number of media	12set	42 l
Application	Oxic	Anoxic

Table 3. Constituents and methods for sample analysis

Constituents	Analytic Methods
TCOD _{Cr}	Standard Method (K ₂ Cr ₂ O ₇ Closed Reflux Method)
SCOD _{Cr}	Standard Method (K ₂ Cr ₂ O ₇ Closed Reflux Method)
BOD ₅	Standard Method (5-day Test)
TSS	Standard Method (Gravimetric)
T-P	Standard Method (UV Method)
PO ₄ -P	Ion Chromatography Method
T-N	Standard Method (UV Method)
NH ₃ -N	Nesslerization Method
NO ₂ -N	Ion Chromatography Method
NO ₃ -N	Ion Chromatography Method

충진율 그리고 그 이외의 특성은 Fig. 3과 Table 2에 나타내었다.

3. 분석방법

시료에 대한 분석은 유입수, 혐기조, 무산소조, 호기조 및 유출수에 대하여 이루어졌으며, 조건마다 약 3주간격으로 주 2회 분석을 실시하였다. 또한 용존성물질(Soluble) 분석을 위한 시료는 0.45 μm membrane filter로 여과하여 여과한 다음 사용하였고, 시료의 적절한 유지를 위하여 비용존물질 시료와 더불어 시료 분석시까지 냉장 보관하였다. 분석항목 및 분석 방법은 Table 3에 나타내었다. 유입수, 유출수 및 혼합액에 대하여 Standard Method 또는 수질오염공정시험법에 준하여 필요한 분석을 실시하였다.

III. 결과 및 고찰

1. BOD 및 COD

각각의 조건에서의 BOD, COD 제거효율을 Fig. 4에 나타내었다. BOD의 경우, C조건과 Z조건에서 각각

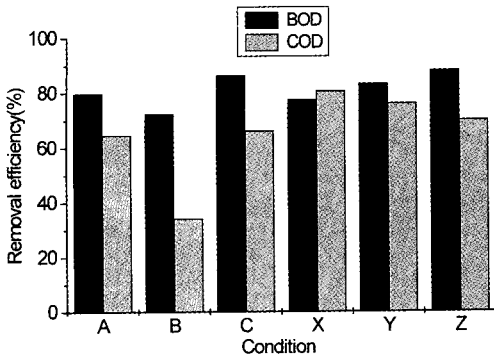


Fig. 4. Removal efficiency of BOD and COD in different condition.

86.4%, 88.1%로 가장 높은 제거효율을 나타내었는데, 이는 무산소조의 체적비 증가로 인해 질산성 질소의 탈질 과정 중의 에너지원으로 유기물질을 소모함⁹⁾으로써 높은 제거율이 나타났다고 사료된다. 그러나 COD의 경우는 BOD와는 달리 X와 Y조건에서 각각 80.6%, 76.1%로 가장 높은 제거율을 나타내었는데, COD의 경우, 일부 탄소원이 난분해성 유기물질(refractory organic compounds)의 형태로 존재하여 탈질균들이 직접 사용할 수가 없기 때문에⁹⁾ BOD제거율과는 다른 양상을 나타내었다고 사료된다.

그리고 담체를 사용하지 않은 B조건에서 가장 낮은 제거율을 나타낸 반면, 담체를 사용한 Y조건에서는 다른 담체를 사용한 조건과 유사한 제거율을 나타내었다. B조건과 Y조건은 시기적으로 동일한 조건(이 기간 중 비가 오는 횟수가 잦았음)임에도 불구하고, 이런 차이를 나타낸 것은 담체를 사용한 조건에서는 담체에 미생물들이 잘 적응하여 그 결과 유출수의 농도가 안정한 양상을 나타낸 것으로 사료된다.

2. 질소

Fig. 5, Fig. 6은 각각 암모니아성 질소의 농도와 NO_x-N(아질산성 질소(NO₂-N) 및 질산성 질소(NO₃-N)의 합)의 각 반응조별 농도의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 5에서 암모니아 질소는 모든 조건에서 혐기조, 무산소조, 호기조로 갈수록 농도가 감소하는 반면, Fig. 6에서 NO_x-N(질산염)의 농도는 증가하는 경향을 나타내었다. 이는 암모니아가 반응조를 거치면서 nitrification을 통한 아질산성, 질산성으로 변화하고 있음을 나타내어준다. 주목할만한 사실은 암모니아성 질소가 혐기조와 무산소조에서도 상당한 양의 암모니아성 질소가 질산화과정을 거친다는 사실이다. HRT 6시간, 내부반송 1Q, 무산소와 호기조의 체적비가 1:2인 경우인 A조건

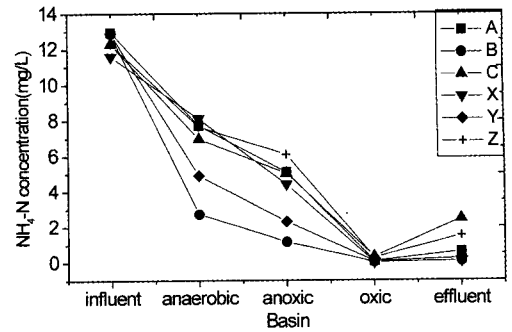


Fig. 5. Variation of NH₃-N concentration in each basin.

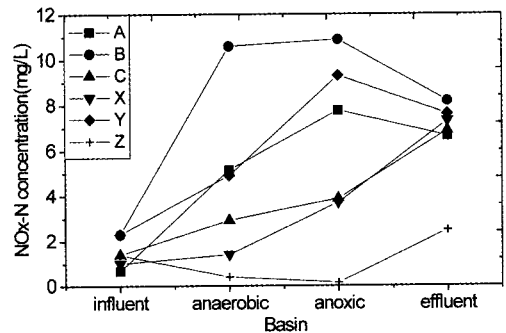


Fig. 6. Variation of NO_x-N concentration in each basin.

에서는 암모니아성 질소가 서서히 감소하면서 비례적으로 질산염의 농도도 증가하는 경향을 나타내었다. A조건에 내부반송율을 2Q로 증가시킨 B조건에서는 혐기조에서 암모니아성 질소의 농도가 급격히 감소함과 동시에 질산염의 농도도 거의 동일하게 증가하여 방류될 때까지 감소하지 않아 무산소조에서 탈질로 인한 질산염의 제거가 적게 관찰되었다. C조건에서는 질산화로 인한 암모니아성 질소의 감소는 A조건과 유사한 경향을 보이고 질산염의 농도는 다른 조건에 비해 낮게 나타났다. X조건은 경우, 암모니아성 질소의 농도가 서서히 감소하면서 비례적으로 질산염의 농도도 증가하는 경향을 보여 A₂O공정의 A조건과 비슷한 경향을 나타내었다. 내부반송율이 2Q인 Y조건에서는 혐기조에서 암모니아성 질소의 농도가 급격히 감소함과 동시에 질산염의 농도도 거의 동일하게 증가하는 것으로 나타났다. Z조건에서는 호기조의 질산화가 다른 조건과 비슷하게 나타나며 무산소조에서 질산염의 농도가 낮게 나타난 것은 혐기조에서 유입되는 NO₃-N의 농도가 낮고 호기조에서 유입되는 질산성질소의 탈질에 기인하는 것으로 사료된다.

Fig. 7은 각 조건에 따른 질산화율과 탈질율을 나타

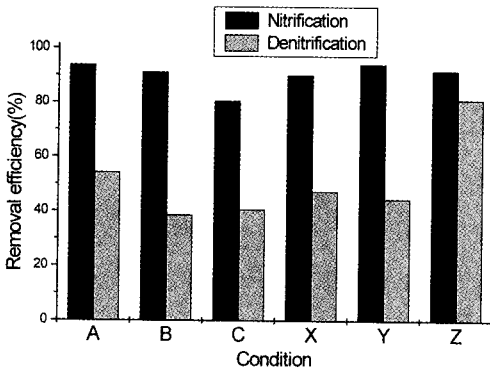


Fig. 7. Nitrification and Denitrification rate in different condition.

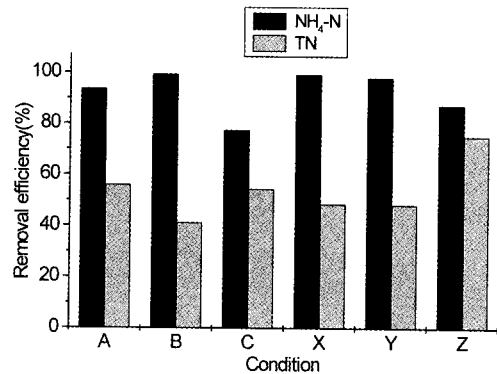


Fig. 8. Removal efficiency of NH₃-N and T-N in different condition.

낸 것이다. 질산화율의 경우 거의 모든 조건에서 섬모상 담체 사용 유무에 관계없이 대체로 90%이상의 변화율을 나타내었다. A, B, C 각각의 질산화율은 93.7%, 91.1%, 80.5%이고 X, Y, Z에서의 질산화율은 각각 90.0%, 94.1%, 91.8%로서, 전체적으로 담체를 사용한 조건에서 질산화율이 높은 것을 알 수 있다. 특히 담체를 사용하지 않은 공정에서 C조건의 경우, 질산화율이 다른 조건에 비해 떨어짐을 알 수 있는데, 이때 용적비가 무산소조:호기조가 1.5:1.5로서 다른 두 A, B 조건에 비해 조건 C에서만 질산화율이 80.5%로 낮게 나타났다. 이는 무산소조와 호기조 사이로 유입된 암모니아성 질소가 모두 질산화 되지 못하여 질산화율이 감소된 것으로 사료된다. 또한 탈질율의 경우, A, B, C 각각 54.2%, 38.6%, 40.6%로 나타났고, X, Y, Z 각각 47.3%, 44.6%, 81.2%로 나타나 탈질율의 경우에 있어서도 담체를 사용한 공정에서 약간 더 높은 것을 볼 수 있었다. 이처럼 탈질율이 더 높은 이유는 섬모상 담체에 붙어있는 탈질균이 존재하기 때문이라고 판단된다. 그리고 탈질율의 경우, 담체를 사용한 조건에서의 탈질율이 그렇지 않은 경우보다 높아, 담체가 탈질 효율을 약간 향상시킨 것으로 나타났다. 그러나 Kim 등¹⁰⁾ 연구보고에 의하면 내부반송이 2Q에서 가장 높은 탈질율을 보였다고 보고하고 있으나, 본 실험에서는 조건 B와 Y가 내부반송을 2Q로 하였음에도 불구하고 다른 조건들과 유의한 차이가 없었다는 것은 내부반송이외의 요인들로 인해, 탈질율이 감소되었으리라 사료된다.

Fig. 8은 각 조건에 따른 NH₃-N 및 T-N 제거효율을 나타낸 것이다. 암모니아성 질소의 제거율의 경우, B와 X조건에서 각각 99.3%, 99.2%의 높은 제거율을 나타낸 반면, C와 Z조건에서 각각 77.6%와 87.4%로 낮은

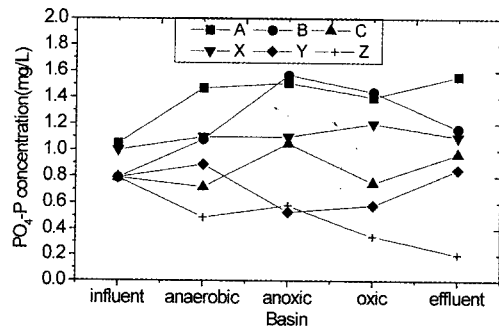


Fig. 9. Variation of PO₄-P concentration in each basin.

제거율을 나타내었는데, 이들 C와 Z조건은 모두 무산소조의 용적을 증가시킨 것들이다. 따라서 무산소조의 용적증가는 암모니아성 질소 제거효율을 저하시키는 결과를 가져왔으나, 반대로 T-N제거에 있어서는 다른 조건에 비해 우수한 것으로 나타나, 좀더 폭넓은 조건에서 이들 제거율에 대한 관찰이 요구된다. 또한 T-N제거율에 있어서 Z조건에서 75.2%의 가장 높은 제거율을 나타내었고, B조건에서 41.2%로 가장 낮은 제거율을 나타내었는데, 이는 담체의 사용으로 인해, 담체에 부착된 미생물들에 의해 효율이 증가한 것으로 사료된다. 또한 질소, 인 제거 뿐만 아니라 질산화, 탈질에 있어서 유기물 농도가 중요한데, Kuba 등의 보고에 의하면, 질산화나 탈질이 일어날 경우 이들의 에너지원으로 유기물을 필요로 하는 것으로 알려져 있다.¹¹⁾

3. 인

Fig. 9는 각 단계에서의 PO₄-P농도를 나타낸 것으로 각 조건에 따라 다양한 PO₄-P 농도변화 경향을 나타내었다. 대부분 혐기조에서는 PO₄-P농도가 유입농도보다

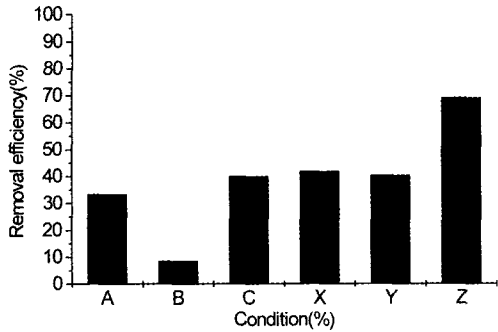


Fig. 10. Removal efficiency of T-P in different condition.

높게 나타나 인의 방출이 발생하는 것을 확인할 수 있었고, 무산소조에서도 외부반송흐름에 의한 희석효과에도 불구하고 그 농도가 증가하거나 유지하여 인이 계속 방출되고 있음을 나타내었다. 다만 조건 C와 Z의 경우, 혐기조에서 $PO_4\text{-P}$ 농도가 감소하는 것을 나타냈는데, 이는 Chuang¹²⁾ 등에 의하면, 질산성 질소가 혐기조에서 인방출을, 호기조에서 인섭취를 감소시키는데, 이는 질산성 질소와 유기물질이 존재하는 가운데 인섭취 및 방출이 일어나기 때문이며, 또한 질산성 질소가 탈질을 위해 인과 경쟁적으로 유기물질을 사용하기 때문이라고 하였다. 폭기조에서 미생물들에 의한 인섭취가 제대로 이루어지지 않고 오히려 증가하는 현상을 나타내는 것도 위와 같은 현상일 것으로 사료된다. Fig. 10은 각 조건별로 본 T-P 제거율로서, A조건의 경우, 33.4%의 처리효율을 나타냈으며, 조건 B는 처리효율이 8.5%로 낮은 처리효율을 보였는데, 이는 비가 많이 와서 BOD용적부하가 적고, 잉여슬러지의 인출량이 적어 SRT가 증가하는 것에 기인하는 것으로 보인다. C의 유입수는 40.0%의 처리효율을 나타내 혐기조-무산소조-호기조의 용적비가 1:1:2이고 처리시간이 6시간에 내부반송 1Q일 경우가 처리효율이 좋은 것으로 나타났다. 조건, X, Y, Z의 경우, T-P제거율이, 각각 41.9%, 40.4%, 69.0%로 나타나, 대체로 담체를 사용하지 않은 것에 비해 효율이 좀 더 높은 것으로 나타났는데, 이는 미생물들이 담체에 적응하여, 다른 외부조건에도 잘 적응하여, 인을 효율적으로 제거한 것으로 사료된다.

Fig. 11은 각 조건에서 $PO_4\text{-P}$ 섭취율 및 방출율에 대한 관계를 나타낸 것이다. 일반적으로 인의 방출은 혐기성상태에서, 인의 섭취는 호기성 상태에서 이루어지는 것으로 알려져 있고, 특히 혐기성조건을 거친 인의 경우 호기조에서 인섭취량이 기존 재래식에서의 섭취량에 비해 높은 것으로 알려져 있으나¹³⁾ 본 실험에서

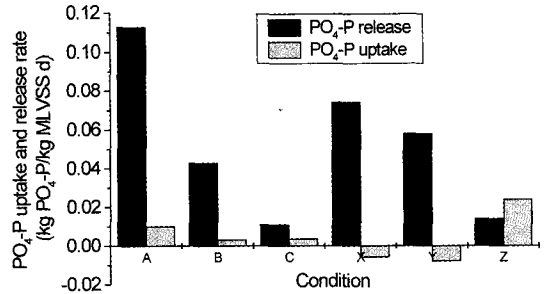


Fig. 11. $PO_4\text{-P}$ uptake and release rate in different condition.

는 조건 A, B와 X, Y에서 높은 인 방출율을 나타냈다. 또한 인 방출율이 높을 경우, 호기조에서 인의 과다섭취(luxury uptake)가 일어나서 높은 인 제거율을 나타낸다¹⁴⁾고 되었으나, 본 실험에서는 이들, A, B, X, Y의 인 방출율이 높음에도 불구하고 낮은 인섭취율을 보인 것은 Chuang 등¹⁵⁾이 보고한 것처럼 질산염이나 기타 유기물질의 영향, 그리고 이 시점에서 강우의 영향으로 인한 유입된 유기물질의 낮은 농도등으로 인해 이와 같은 결과가 나타난 것으로 사료된다. 인섭취율/인방출율의 비율은 담체를 사용한 조건 C와 Z에서 높게 나타난 것으로 보아, 미생물이 담체에서 안정적으로 인을 섭취한 것으로 사료된다.

IV. 결 론

유기물은 내부반송 1Q, 담체를 이용하고, 혐기조-무산소조-호기조의 용적비율이 1:3:2인 조건에서 제거율이 가장 높게 나타났다.

암모니아성 질소는 80.5% 이상을 보였으며 담체 사용 유무에 관계없이 혐기조-무산소조-호기조의 비율이 1:3:2인 조건에서 제거율이 가장 높은 것으로 나타났다.

T-N의 경우, 내부반송 1Q, 담체를 이용하고, 혐기조-무산소조-호기조의 비율이 1:3:2인 조건에서 75.0%로 가장 높은 제거율을 나타내었다.

T-P의 경우, 내부반송 1Q, 담체를 이용하고, 혐기조-무산소조-호기조의 비율이 1:3:2인 조건에서 69.0%로 처리효율이 가장 높게 나타났다.

앞으로 행해져야 할 연구는 비록 실제 하수처리장에 반응조를 설치하여 실험하였으나, 그 기간이 상대적으로 짧고, 또한 온도가 높은 여름에만 실시되었기 때문에, 본 논문에서 행해진 조건으로 연중변화를 봄으로써, 좀더 장기적인 연구가 이루어져야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 1) 환경백서 : 환경부. 398-400, 1999.
- 2) van Benthum, W. A. J., Garrido, J. M., Mathijssen, J. P. M., Sunde, J., van Loosdrecht, M. C. M., and Heijnen J. J.: Nitrogen removal in intermittently aerated biofilm airlift reactor. *Journal of Environmental Engineering*, 239-248, 1998.
- 3) Hiroshi S., Kiyomi A. and Toshihiro T.: A combined nitrogen removal process by biological anaerobic filter using floating media and biological aerobic filter. 7th IAWQ Asia-Pacific Regional Conference, 1, 245-250, 1999.
- 4) Fujii, M., Yamamoto, Y., Tsumura, K., Sasaki, K., Ochi, S., Katsuura, H.: Biological simultaneous removal of nitrogen and phosphorus using intermittent aeration and two aeration tanks in series-demonstrative investigation using a pilot plant. 7th IAWQ Asia-Pacific regional Conference, 1, 710-715, 1999.
- 5) Baetens, D., Vanrolleghem, P. A., van Loosdrecht, M. C. M., and Hosten, L. H.: Temperature effects in biopemoval. *Wat. Sci. Tech.* **39**, 215-225, 1999.
- 6) Vasanthadevi A., Kazuya K., Satoshi T., and Kenji F.: Factors affecting nitrogen removal from domestic wastewater using immobilized bacteria. IAWQ 19th Biennial International Conference. **1**, 184-191, 1998.
- 7) (주) 화랑환경 : 유동상, 고정상 섬모접촉여재를 이용한 고농도 유기폐수의 처리기술개발. 8-10, 1996.
- 8) Magnus, C., Ewha L. and Thomas W.: A comparison between ethanol and methanol as carbon sources for denitrification. *Wat. Sci. Tech.* **30**, 83-90, 1994.
- 9) Min Z., Joo H. T., Yi, Q., and Xia S. G.: Comparison between Anaerobic-Anoxic-Oxic and Anoxic-Oxic systems for coke plant wastewater treatment. *Journal of Environmental Engineering*, pp. 876-883, 1997.
- 10) Kim, K. S., Cho, K. M., Choi, H. C., Kim I. S.: A pilot study on nitrogen and phosphorus removal in modified-phostrip process. 7th IAWQ Asia-Pacific regional conference. **1**, 710-715, 1999.
- 11) Kuba, T., van Loosdrecht, M. C. M., and Heijnen, J. J.: Biological dephosphatation by activated sludge under denitrifying condition:pH influence and occurrence of denitrifying dephosphatation in a full-scale waste water treatment plant. *Wat. Sci. Tech.* **36**, 75-82, 1997.
- 12) Chuang, S. H., Ouyang, C. F., Yuang, H. C.: Effects of SRT and DO on nutrient removal in a combined AS-biofilm process. *Wat. Sci. Tech.* **36**, 19-27, 1997.
- 13) Jens M., Eva, A., and Steven I.: Effects of nitrite on anoxic phosphate uptake in biological phosphorus removal activated sludge. *Wat. Res.* **33**, 1871-1883, 1999.
- 14) 민경국, 원성연, 이상일 : 생물학적 인 방출시 유기물 및 질산염에 대한 영향. *대한환경공학회지*, **22**, 141-148, 2000.
- 15) Chuang, S. H., Ouyang, C. F., Wang, Y. B.: Kinetic competition between phosphorus release and denitrification on sludge under anoxic condition. *Wat. Res.* **30**, 2961-2968, 1996.