



## 생물막 담체를 이용한 실험실 규모 A<sub>2</sub>O공법의 시스템 변형에 따른 고도처리 성능 평가에 관한 연구

### The Study on Evaluating Performances of Lab Sacle-Advanced A<sub>2</sub>O with Changing System Using Biofilm Process

김민식 · 강구영\*

Min Sik Kim · Guyoung Kang\*

한국외국어대학교 환경학과

(2011년 9월 15일 접수; 2012년 3월 29일 수정; 2012년 4월 1일 채택)

#### Abstract

Recently, as reinforced water quality standards for wastewater has been announced, more efficient and more powerful wastewater treatment processes are required rather than the existing activated sludge process. In order to meet this demands, we evaluate Task 1-4 about lab scale A<sub>2</sub>O process using biofilm media. Task 1, 2, and 3 use 'Module A' which has 4 partitions (Anoxic/Anerobic/Oxic/Oxic). Task 4 uses 'Module B' which has 2 partitions including a denitrification reactor with an Inclined plug flow reactor (IPFR) and a nitrification reactor with biofilm media. The denitrification reactor of Module B is designed to be upward flow using IPFR. The result of evaluating at each Task has shown that attached growth system has better capacity of removal efficiency for organic matter and nitrogen with the exception of phosphorus. Task 4 which has the most outstanding removal efficiency has 90.5% of BOD<sub>5</sub> removal efficiency, 97.8% of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N removal efficiency, 65% of T-N removal efficiency and 92% of T-P removal efficiency with additional chemical phosphorus removal system operated at HRT 9hr, Qi:Qir 1:2, and BOD/T-N ratio 2.7.

**key words** : A<sub>2</sub>O process, biofilm, attached growth system, advanced wastewater treatment

**주제어** : A<sub>2</sub>O 공법, 생물막, 부착성장시스템, 고도처리

#### 1. 서론

생활하수는 하천 수질오염의 주된 오염원으로서 전체 오염원의 약 60%의 비중을 차지하며 하천의 부영양화를 일으키는 주요원인인 인산, 질산 및 암모늄 형태의 영양염류 등을 포함하고 있다. 우리나라에서는 이를 처리하기 위해 09년도 말 기준 500m<sup>3</sup>/day 이상 규모의 공공하수처리시설 437개소를 가동 중에 있으며 이중 고도처리공법이 적용된 시

설은 361개소인 83%이다. 운영 중인 고도처리 공법은 37.5%를 차지하고 있는 SBR공법 134개소와 27.5%를 차지하고 있는 A<sub>2</sub>O공법 98개소가 가장 많은 부분을 차지하고 있고 A<sub>2</sub>O공법은 톤당 처리비 102.3원/ton로 다른 고도처리 공법에 비해 가장 경제적이다(환경부, 2010a). 혐기조, 무산소조, 호기조가 순서대로 결합된 단일 부유성장공법인 A<sub>2</sub>O공법은 유기물과 함께 부영양화 원인물질인 질소와 인을

\*Corresponding author Tel: 010-2511-9090, E-mail: kanggy@hufs.ac.kr(G, Y, Kang)

동시에 제거하기 위해 가장 대표적으로 사용되는 공법으로서(Peng et al., 2006) 유입된 유기물은 호기조에서 반송된 질산성 질소와 함께 탈질미생물에 의해 제거되며 유입원수의 암모니아성 질소는 호기조에서 질산화 미생물에 의해 아질산성 질소 및 질산성 질소의 형태로 전환되어 반송에 의해 무산소조에서 처리되어 최소화된다. 인은 혐기조건에서의 방출과 호기조건에서의 생물학적 세포합성을 통해 제거된다.

우리나라는 2012년 1월 1일부터 I 지역 기준으로 BOD<sub>5</sub> 5mg/L, SS 10mg/L, T-N 20mg/L, T-P 0.2 mg/L로 전국적으로 강화할 계획이다(환경부, 2010b). 이에 따라 기존의 A<sub>2</sub>O공법에서 최근 강화되는 총질소와 총인에 대한 수질법규를 만족시키며 부지면적이 부족한 우리나라 실정에 적합한 발전된 형태의 변형 공법이 요구된다. 기존의 단일 부유성장공법의 부착성장화를 도모할 경우 반응조 내 바이오매스의 낮은 탈리 및 사멸량에 상응하는 높은 바이오매스 농도를 유지할 수 있고, 폐수 내 독성 물질로부터의 충격 영향에 대해 강할 뿐만 아니라 여타 부정적인 환경에 역시 강한 장점을 지니며, 부착을 위한 담체의 조건에 따라 오염물질에 대한 고효율 처리가 가능하므로 강화되고 있는 하수처리 방류수규제 및 기존처리시설의 고도처리시설로의 변형 요구에 부합한다.

본 연구에서는 생물막 담체를 이용하여 실험실 규모의 A<sub>2</sub>O공법의 시스템 변형을 도모하여 각 변형에 따른 유기물과 질소 및 인의 처리에 관한 성능의 비교 및 평가 후 최종적으로 안정적인 처리수 배출을 위한 효율적인 고도처리 공법의 개발을 도모하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 실험장치

Task 1, 2, 3의 변형 A<sub>2</sub>O공정 반응기와 Task 4의

변형 A<sub>2</sub>O공정 반응기를 Fig. 1과 같이 제작하였다. Task 1, 2, 3에서 사용한 변형 A<sub>2</sub>O공정 반응기(이하 Module A)는 총 4단으로 유입원수와 내부 및 슬러지 반송수의 DO를 소비하는 탈기조인 무산소조(Anoxic), 혐기조(Anaerobic), 호기조 1(Aerobic 1), 호기조 2(Aerobic 2)로 구성되어 있고 실험실 규모로 제작한 무산소조와 혐기조의 용적은 각각 1.729L, 호기조 1과 호기조 2의 용적은 각각 3.724L, 반응조의 총 유효부피는 10.906L이다.

Task 4에서 사용한 변형 A<sub>2</sub>O공정 반응기(이하 Module B)는 탈질화조(Denitrification reactor), 질산화조(Nitrification reactor), 화학적 처리조(Chemical treatment reactor)로 구성되어 있다. 생물학적처리 반응조가 무산소조와 호기조로 나뉘어 MLE공법으로 볼 수 있으나 엄밀히 구분하자면 무산소조인 탈질화조는 탈질용 고정상 경사판이 생물막 담체로 설치되어 유입원수와 내부반송이 탈질조 하부로 유입되는 상향류 관형흐름이고 경사판의 하단부와 경사판이 미치지 않는 최하단부는 탈리된 슬러지에 의하여 DO를 감소시키는 완충역할을 하여 탈질 저해요인을 최소화하는 무산소조 역할을 하고 그 외 나머지 중·상단부 혐기조 역할을 하는 변형 A<sub>2</sub>O공정이라 할 수 있다. 화학적 처리조는 기존의 침전조를 개량한 것으로서 완속 교반되는 상태에서 처리수가 침전조로 유입되기 전에 응집제가 일정 유량에서 투입되어 잔류 인과 부유물질을 침전물로 제거할 수 있게 하였고 전 공정의 부착성장화로 반응조 내 바이오매스의 낮은 탈리 및 사멸량에 상응하는 높은 바이오매스 농도를 유지하므로 기존에 존재하던 침전지에서의 슬러지 반송이 제거된 시스템을 구성하고 있다. 실험실 규모로 제작한 탈질화조와 질산화조의 용적은 각각 9.984L, 5.491L이며 총 유효 부피는 15.475L로 구성하였다. 침전조를 개량한 화학적 처리조의 용적은 8.9L이다.

#### 2.1.1 생물막 경사판

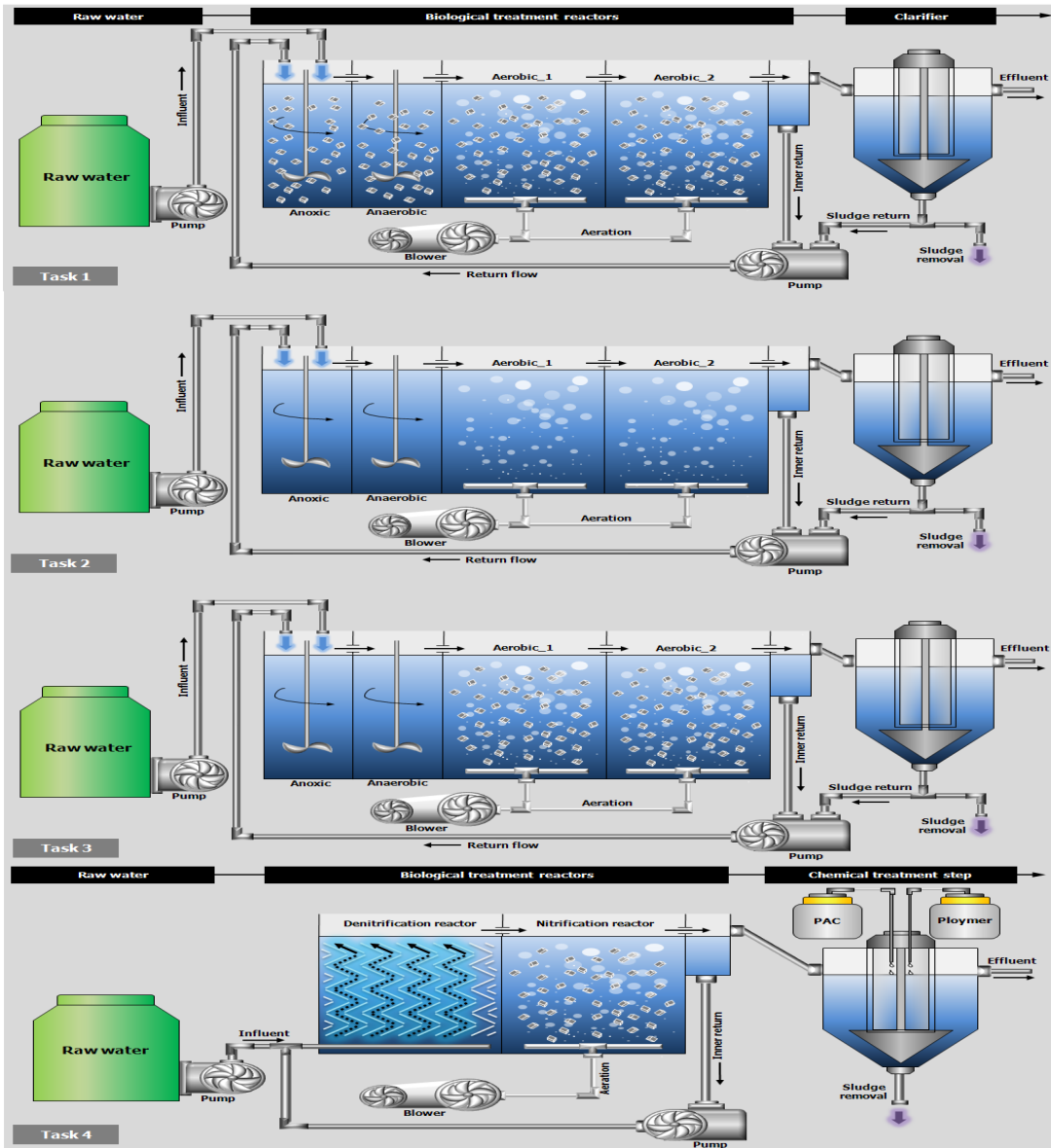


Fig. 1. Schematic diagram of the modified A<sub>2</sub>O process at each Task.

Module B 반응조 전단인 탈질조에 설치한 탈질용 생물막 경사판은 PVC와 Silica 재질로 구성된 멤브레인 막소재이며 탈질미생물의 부착성장에 우수하다. 생물막 경사판의 경사각을 60°로 조정하여 탈질시 생성되는 잉여슬러지의 부상을 방지하였고 10~20mm의 막 사이에서 미생물이 부착증식하여 탈질 및 유기물을 제거하게 된다. 또한 사공간을

최소화하기 위해서 경사판을 계단식으로 교차 연결하여 제작하였으며 이로 인해 경사판 각도에 의해 물의 흐름이 한쪽 방향으로 편중되는 것을 방지하였다(이택준, 2010).

### 2.1.2 유동상 담체

실험에 사용된 부착 미생물 유동상 소형담체는 유

지관리가 간편한 고효율 하수처리 장치로서 재질은 Polyurethane이고 용적은 유동 및 충전물을 최적화한 가로, 세로, 높이가 각각 3mm(3mmx3mmx3mm)이다.(최진수 등, 2009) 유동상 담체는 고정상형 생물막과 달리 유동에 의한 생물막의 자연 박리가 일어나기 때문에 고정상과 같은 역세조작이 불필요하고 담체 내에 미생물 농도를 고동도로 유지할 수 있기 때문에 반송슬러지 등의 미생물 농도의 관리가 불필요하며 높은 부하에서의 처리가 가능하다.

## 2.2 실험방법

기존 A<sub>2</sub>O공정의 시스템 변형을 통해 성능 및 효율을 비교 평가하기 위하여 Table 1과 같은 조건으로 실험을 진행하였다. Task 01의 변형 A<sub>2</sub>O공정은 모든 조 내 유동상 담체를 50%로 충전하여 전체 시스템이 부착성장 조건이 되도록 운전하였으며 이에 대한 대조군으로 Task 2의 변형 A<sub>2</sub>O공정은 모든 조 내 부유성장 조건이 되도록 운전하였다. Task 3에서는 무산소조와 혐기조를 부유성장 조건으로 하고 나머지 호기조 1과 호기조 2는 유동상 담체를 충진율 50%로 하여 부착성장 조건이 되도록 운전하였다. 이상 Task 1, 2, 3의 변형 A<sub>2</sub>O공정의 운전은 Module A를 이용하였다. Task 4의 변형 A<sub>2</sub>O공정은 탈질용 생물막 경사판의 탈질조와 유동상 담체를 30% 충전한 질산조로 구성된 Module B를 운전하였다.

Table 1. Operating condition summary at each Task

Task	Operating condition	Modified system
Task 1		All attached growth system with fluidized media
Task 2		All suspended growth system
Task 3		Anoxic and anaerobic zone are suspended growth system, and aerobic_1, aerobic_2 are attached growth system with fluidized media
	HRT 9 hr, 1Q/2Q	As a final form of this study, all attached growth system with inclined biofilm for denitrification and fluidized media for nitrification
Task 4		-Clarifier is modified for phosphorus removal and SS removal by chemical treatment system -There is no sludge return system

운전 조건은 모든 Task에서 HRT 9 hr, 내부반송비 2Q, 슬러지 반송이 없는 Task 04를 제외한 나머지 Task 1, 2, 3에서 슬러지 반송비 1Q로 동일하게 하여 각 시스템 변형에 대한 성능 및 효율을 비교 평가할 수 있도록 하였다. 모든 실험은 반응조 설치 후 약 2달 동안 미리 순용시켰던 슬러지를 사용하였다. 실험에 사용한 원수는 경기도 광주시 오폭읍 소재 하수처리종말처리장의 원수와 인공하수를 혼합하여 2m<sup>3</sup>의 원수조에 저장하여 유입하였다. 유입 원수의 BOD<sub>5</sub>/T-N 비는 약 2.7이며 유입원수의 성상을 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Characteristics of raw wastewater

Components	Min	~ Max	Average (Std)
BOD <sub>5</sub> , mg/L	33.0	~ 148.5	80.4 (7.7)
COD <sub>Cr</sub> , mg/L	65.3	~ 283.5	156.4 (12.6)
COD <sub>Mn</sub> , mg/L	26.4	~ 148.0	52.5 (7.6)
T-N, mg/L	19.7	~ 39.9	29.3 (6.7)
T-P, mg/L	0.1	~ 1.6	0.8 (0.1)
NH <sub>3</sub> <sup>+</sup> -N, mg/L	13.4	~ 34.7	25.15 (1.0)
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> -P, mg/L	0.1	~ 1.5	0.6 (0.1)
Alkalinity*	96.0	~ 280.0	206.2 (10.5)

\*mg of CaCO<sub>3</sub>/L

## 2.3 분석방법

분석에 사용된 모든 시료는 110mm 여과지 (Advantec)로 여과하여 분석하였다. T-N, T-P의 분석은 kit분석법(Humas)을 사용하였으며 BOD<sub>5</sub>, COD<sub>Cr</sub>, COD<sub>Mn</sub>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-P, 알칼리도, pH는 Standard Methods for Examination of Water and Wastewater(American Public Health Association, 1998), 공정시험방법에 따라 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 시스템 변형에 따른 유기물제거 평가

Fig. 2과 Fig. 3는 시스템의 변형에 따른 BOD<sub>5</sub>와 COD<sub>Mn</sub>의 조건별 처리율을 나타낸 것이다. BOD<sub>5</sub>는 전체 공정이 부유성장 시스템인 Task 2를 제외한 모든 Task에서 90% 이상의 처리효율을 보이는데

이는 유동상 담체를 사용한 부착성장시스템이 일반적인 부유성장시스템보다 유기물에 대해 다소 큰 차이는 아니지만 더 나은 제거 능력을 갖는다고 평가할 수 있다. 유동상 담체를 호기조에 충전하여 산업폐수의 유기물 제거를 도모한 Kim 등(2002)의 연구를 보면 유동상 담체를 사용한 실험군의 COD 제거율은 68.8%인데 반해 유동상 담체를 사용하지 않은 대조군의 COD제거율은 38.2%이다. 담체를 이용한 경우 담체 내에 접종된 미생물의 안정성의 증가뿐만 아니라 담체를 통해 유지되는 고동도의 바이오매스가 COD제거율의 증가에 크게 기여된다고 추론되며 이러한 결과는 생물막 담체를 사용한 부착성장시스템이 기존의 부유성장시스템보다 더 나은 제거 능력을 갖는다는 본 연구의 결론과 일치한다.

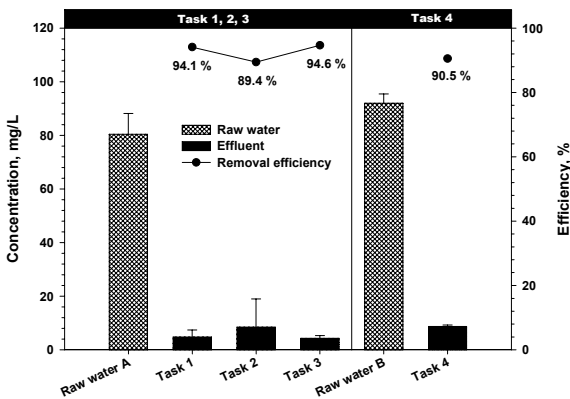


Fig. 2. Concentration of BOD<sub>5</sub> at each Task.

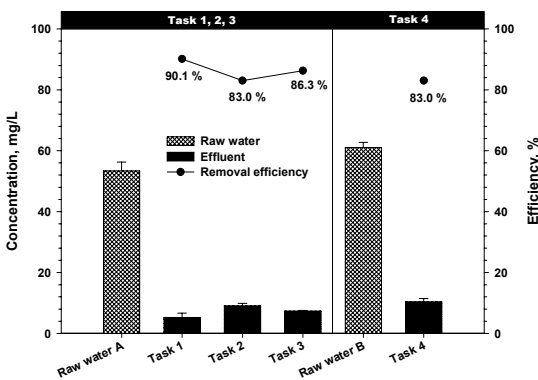


Fig. 3. Concentration of COD<sub>Mn</sub> at each Task.

Fig. 4는 Task 4의 Module B에서 유기물의 거동을 나타낸 것으로 탈질조에서 유기물의 59.9%가 제거되고 질산화조에서 0.76에서 0.84 day<sup>-1</sup>의 비 성장속도를 갖는 호기성 자가영양 미생물과 4.8 day<sup>-1</sup>의 비 성장속도를 갖는 호기성 중속영양 미생물이 잔류 유기물 존재 시 경쟁관계가 되어 우점화 된 호기성 중속영양 미생물FDZ-POLANCO 등 (1999)에 의해 19.0%의 유기물이 제거됨을 확인하였다.

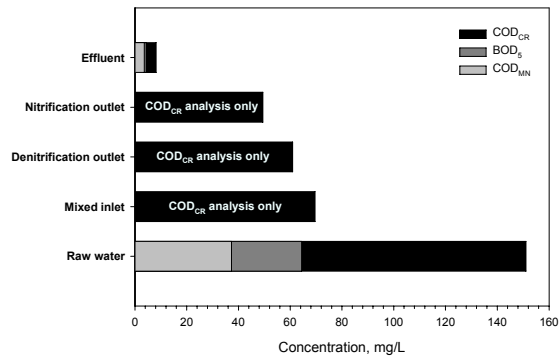


Fig. 4. Profile of organic matter in biotreatment reactor Module B at Task 4.

생물막 담체를 이용한 기존 연구의 유기물질 제거율을 살펴보면 탈질화용 부유성장식 반응조와 질산화용 하향류 부착성장식 반응조를 조합한 Xiao and Rodgers (2007)의 연구에서 반응비 1:2의 조건에서 96.8%의 처리효율을 보이고 있으며 Pozo and Diez (2003)의 무산소조와 호기조의 고정상 생물막 반응조의 경우 유기물에 관하여 92%의 처리율을 보이고 있다.

### 3.2 시스템 변형에 따른 질소 오염물제거 평가

Fig. 5는 시스템의 변형에 따른 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N의 조건별 처리효율을 나타낸 것으로 각 Task별로 98.8%, 85.0%, 100%, 97.8%이다. 호기조에 담체가 설치되지 않은 부유성장식 시스템인 Task 2는 질산화를 85.0%으로 호기조에 담체를 설치한 다른 모든 조건에 비해 낮은 제거율을 보이며, 이는 유동상담체가 질산화에 매우 뛰어난 능력을 갖는다고 평가할 수

있다.

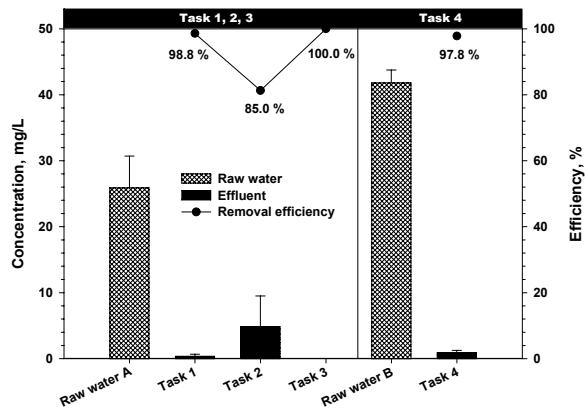


Fig. 5. Concentration of NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N at each Task.

활성슬러지공법과 생물막을 이용한 부착성장공법 (Membrane attached biofilm)을 비교한 Wu 등 (2008)의 연구에 따르면 동일한 조건에서 활성슬러지공법의 질산화 속도는 0.022g/L·d로 나타났으며 생물막을 이용한 부착성장공법의 질산화 속도는 0.16g/L·d로 생물막을 이용한 부착성장공법의 질산화 속도가 기존의 활성슬러지공법의 질산화 속도보다 7배 더 높은 것으로 나타났다. 또한 bead filter biofilm을 사용한 공법과 Carrera 등(2004)의 활성슬러지공법에 대해 유기물의 유입이 질산화에 미치는 영향을 비교한 Ling and Chen (2005)의 연구를 보면 COD/N ratio를 각각 0, 1.4, 5.4로 하여 유입한 결과 bead filter biofilm을 사용한 공법과 활성슬러지공법 모두 COD/N ratio 1.4를 기점으로 1.4 이상에서는 높은 유기물 부하가 질산화 저해요인으로 작용하여 질산화 속도가 급격히 감소함을 보였다. 그러나 유기물의 영향의 정도를 보면 bead filter biofilm을 사용한 공법이 활성슬러지공법보다 유기물에 의한 질산화 속도의 감소폭이 적은 것으로 나타났다. 이는 생물막을 이용할 경우 생물막내 고밀도의 바이오매스가 biofilm을 형성하기 때문에 질산화에 방해인자로 작용하는 유기물의 유입에 대한 영향을 최소화하기 때문이다.

Fig. 6는 시스템의 변형에 따른 총질소의 조건별 처리효율을 나타낸 것으로 각 Task별로 54.2%, 58.8%, 61.7%, 65.0%이다. Task 4의 변형 A<sub>2</sub>O공법인 Module B가 65%로 가장 높은 질소제거효율을 보였으며 이는 Module B의 원수 대 내부반송비 1:2조건에서의 최대 총질소 제거율인 66.6%에 근접하는 값이다.

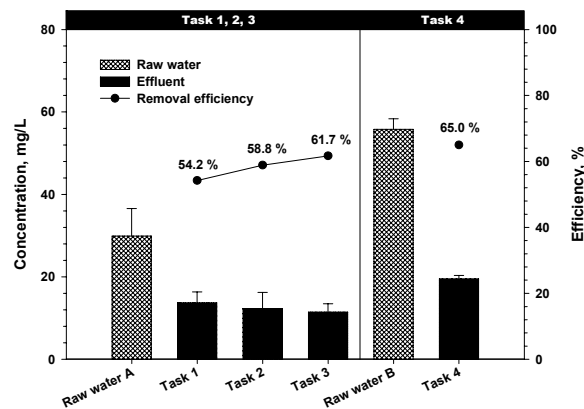


Fig. 6. Concentration of T-N at each Task.

총질소 제거에 가장 뛰어난 효율을 보인 고정상 생물막 담체를 탈질조에 사용한 Task 04를 제외하고 유동상 생물막 담체를 무산소조와 혐기조에 이용한 Task 01과 부유성장식 활성슬러지를 무산소조와 혐기조에 이용한 Task 2와 Task 3의 총 질소 제거율을 비교해보면, 호기조에서 질산화율이 Task 2가 85.0%인 것과 Task 3이 100%인 것을 감안했을 때 Task 2와 Task 3의 총질소 제거율 61.7%와 65.0%는 거의 동일한 탈질율을 통한 총질소 제거효율을 나타낸다고 볼 수 있으며 호기조에서 질산화율이 Task 1이 98.8%인 것을 감안했을 때 Task 1의 총질소 제거율 58.8%는 모든 Task 중 저조한 탈질율을 통한 가장 낮은 총질소 제거율을 보이고 있음을 확인하였다. 탈질화 반응이 일어나는 무산소조와 혐기조에 유동상 담체를 사용한 Task 1의 저조한 탈질율은 질산화에 매우 뛰어난 능력을 보인 유동상 담체가 무산소조와 혐기조에서는 적응력을

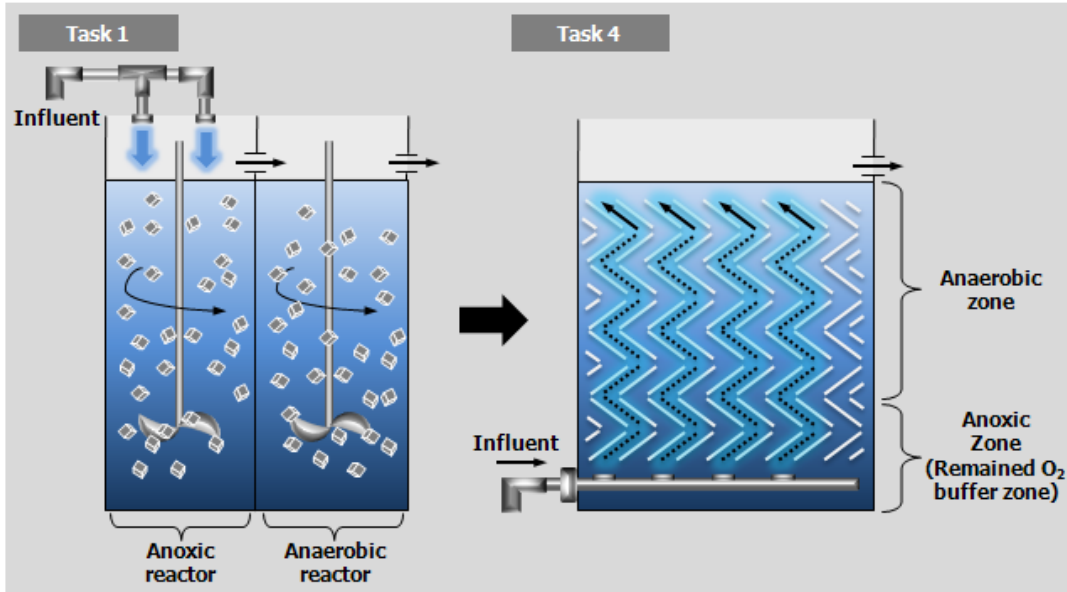


Fig. 7. Schematic diagram of the anoxic reactor & anaerobic reactor at Task 1 and Task 4.

보이고 있지 못함을 나타내고 있다. 이는 유동상 담체가 충전된 무산소조와 혐기조의 유동 방식이 호기조에서의 폭기에 의한 유동 방식과는 다르게 교반봉에 의한 교반 방식이기 때문에 교반봉에 의한 유동 시 담체에서의 미생물 탈리현상이 발생하고 결과적으로 유동상 담체가 탈질화에 부적절한 영향을 미치는 것으로 사료된다.(최진수 등, 2009)

Task 4의 탈질화조에 이용한 고정상 생물막 경사

판은 탈질화에서 유동상 담체 생물막이 갖는 단점을 보완한 생물막 장치로서 Fig. 7과 같이 무산소조와 혐기조의 수평적 구획을 유입원수와 내부반송수의 하부 유입을 통한 단일 반응조 내 수직적 구획으로 하여 조 내 고정상 생물막 경사판을 사용하여 교반을 통한 완전혼합 반응조(Complete mix reactor)가 아닌 상향류식 관형흐름 반응조(Upward plug flow reactor)를 구현한 것이다. 반응조 하부

Table 3. Comparison with studies which reported removal efficiency of nitrogen pollutant

Configurations of reactor	Raw wastewater	Operation condition	Removal efficiency of N(%)	References
Pre-anoxic/anaerobic/ two anoxics/two aerobics	- Domestic - COD/TN : 2.53	volume : 80L, HRT : 9.31hr	- TN : 75% - NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N : 95%	Zeng et al, 2011
Anaerobic/anoxic/ (IMM)aerobic/anoxic/ (IMM)aerobic	- Domestic - COD/TN : 1.9	volume : 10m <sup>3</sup> , HRT : 12.7hr	- TN : 72% - NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N : 94%	Lim et al, 2009
two anaerobics/two anoxics/ four aerobics	- Synthetic - COD/TN : 7.06	volume : 50.4L, HRT : 8.06hr	- TN : 79.5% - NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N : 95.5%	Peng et al, 2006
A2O-MBR	- Synthetic - COD/TN : 5.25	volume : 83.4L, HRT : 10hr	- TN : 60~65%	Bauna et al, 2009
(FM)anoxic/(FM)anaerobic/ (FM)aerobic/(FM)aerobic		volume : 10.9L, HRT : 9hr	- TN : 54.2% - NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N : 98.8%	This study
(AS)anoxic/(AS)anaerobic/ (AS)aerobic/(AS)aerobic	- Mixed - BOD <sub>5</sub> /TN : 2.7	volume : 10.9L, HRT : 9hr	- TN : 58.8% - NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N : 85.0%	
(AS)anoxic/(AS)anaerobic/ (FM)aerobic/(FM)aerobic		volume : 10.9L, HRT : 9hr	- TN : 61.7% - NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N : 100%	
(IPFR)anoxic & anaerobic/ (FM)aerobic		volume : 15.4L, HRT : 9hr	- TN : 65.0% - NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N : 97.8%	

\*IMM : Immobilized microbe matrix, FM : Fluidized media, AS : Activated sludge, IPFR : Inclined plug flow reactor

에서 탈리된 미생물에 의해 탈질화 반응의 저해인자로 작용하는 호기조의 내부반송으로 인한 잔류 DO를 완충하는 역할을 수행하며 경사판에 부착성장한 탈질 미생물에 의해 안정적인 질소제거를 도모할 수 있었으며, 이는 고정상 생물막 경사판 담체가 탈질화 반응에 가장 적합하다고 평가할 수 있다.

본 연구와 더불어 기존의 A<sub>2</sub>O공법의 변형을 통한 질소오염물질 제거에 대해 비교한 것을 Table 3에 정리하였다.

### 3.3 시스템 변형에 따른 인 제거 평가

각 Task별 실험 진행은 인공하수와 하수처리종말처리장의 하수를 혼합하여 원수로 공급하였으므로 초기 유입 원수의 농도차이가 각 Task별로 존재하였다. Fig. 8는 시스템의 변형에 따른 총인의 조건별 처리효율을 나타낸 것으로 각 Task별로 10.0%, 71.4%, 42.9%, 39.4%이다. 모든 Task 중 가장 높은 인 제거 효율을 갖는 Task는 호기조에 담체가 설치되지 않은 부유성장식 시스템인 Task 2의 71.4%로 나머지 Task를 비교해보면, 모든 반응조 내 유동상 담체의 충진을 통해 전 공정의 부착성장화한 Task 1과 생물막 경사판과 유동상 담체의 충진을 통해 전 공정의 부착성장화한 Task 4가 각각

인 제거율 10.0%와 39.4%로 저조한 제거율을 보이고 활성슬러지를 이용하여 부유성장화한 무산소조 및 혐기조와 유동상 담체를 충진하여 부착성장화한 호기조로 구성된 Task 3의 경우 Task 1과 Task 4의 중간 수준의 제거율인 42.9%를 보이고 있다. 공정에 생물막 담체의 사용 부분이 커질수록 인 제거 효율이 낮아지는 것을 통해 생물막 담체가 생물학적 처리의 인 제거에 있어서 적합하지 않다고 평가할 수 있다.

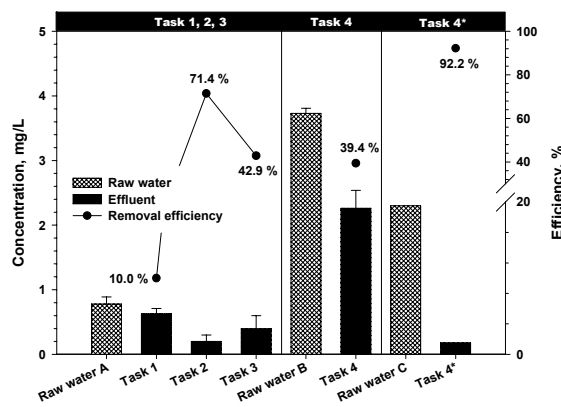


Fig. 8. Concentration of T-P at each Task,

생물학적 인 제거는 PAO(Phosphorus accumulating organisms)의 반응조 내 흐름을 통해 3단계로 발생한다. 첫 번째, 혐기단계에서 acetate와 propionate와 같

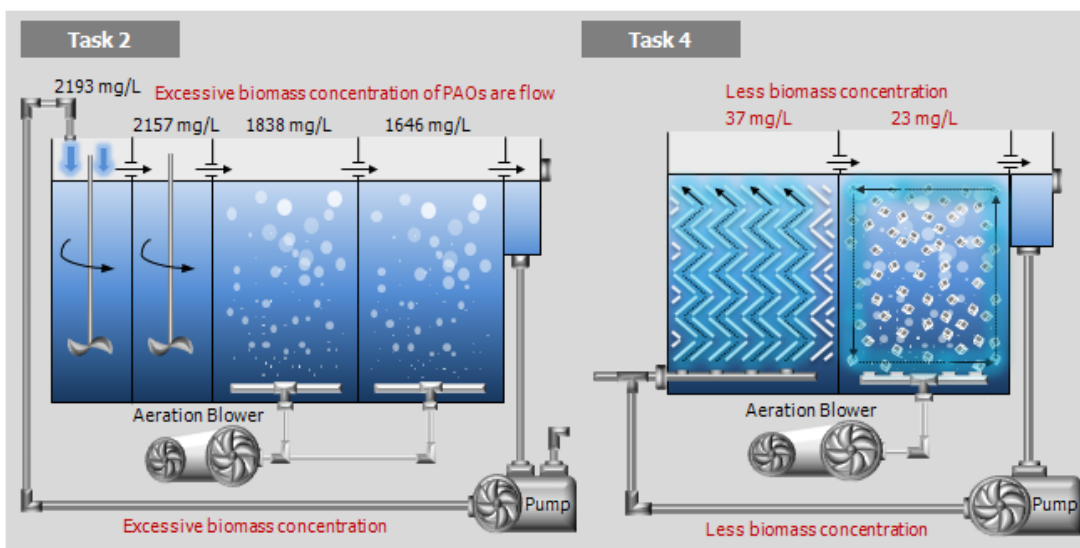


Fig. 9. Suspended biomass concentration at Task 2 and Task 4.



은 VFA(Volatile fatty acids)를 탄소원으로 이용하는 한편 PHA(Polyhydroxyalkanoates)를 다중인산염(poly-P)와 함께 방출한다. 두 번째, 호기단계에서 혐기단계에서 방출했던 PHA를 흡수하여 탄소원과 에너지원으로 이용함과 동시에 혐기단계에서 방출했던 다중인산염보다 더 많은 양의인산염을 과잉 흡수하게 된다. 세 번째, 침전조에서 인이 과잉 축적된 슬러지의 주기적 슬러지 인발을 통해 최종적인 인 제거가 이루어진다(Vargas et al, 2009). 생물학적 인 제거가 PAO의 반응조 내 흐름을 통해 발생하게 된다는 것을 미루어볼 때 공정 전체에 담체를 적용한 Task 1과 Task 4는 전체가 부유성장공정인 Task 2와는 다르게 Fig. 9과 같이 혐기조에서 호기조로 넘어가는 biomass의 양이 상대적으로 미미한 수준이므로 생물학적 인 제거가 매우 저조한 수준을 나타내고 있다. 따라서 전 공정에 생물막 담체를 적용한 Task 4의 경우 인 제거를 위해 반응조 후단에 별도로 화학적 인 제거 시스템이 요구되며 본 연구에서는 Module B의 침전조를 개량하여 PAC와 폴리머의 주입을 통한 인 제거 시스템을 구축하여 별도의 실험인 Task 4\*를 진행하여 인의 방류수질 I 지역 기준인 0.2ppm이하를 만족하는 0.18ppm을 확인할 수 있었다.

#### 4. 결론

생물막 담체를 이용한 변형 A<sub>2</sub>O공법의 고도처리 성능 평가 및 비교한 내용은 다음과 같다.

1) A<sub>2</sub>O공법에 유동상 담체 및 고정형 생물막 경사관의 적용을 통해 BOD<sub>5</sub> 제거 효율 90%이상을 확보하였으며, 생물막 담체는 일반적인 부유성장공정보다 더 나은 유기물 제거능력을 갖는다.

2) 호기조에 유동상 담체를 충전한 Task 1, 3, 4는 모두 97%이상의 질산화 효율을 나타내었으며, 이는 유동상 담체가 질산화 반응에 저해인자로 작용하는 유기물 부하에 강한 저항력을 지녔기 때문

이다.

3) 유동상 담체를 무산소조와 혐기조에 충전한 Task 1는 가장 저조한 질소제거 효율을 보였고, 이는 담체가 교반봉에 의해 유동될 시 담체 내 미생물의 탈리작용 때문이며 유동상 담체는 탈질작용에 적합하지 않다.

4) Task 04에 적용한 IPFR은 무산소조와 혐기조의 단일 반응조 내 수직적 구획을 도모한 생물막 담체로서 HRT 9hr, BOD<sub>5</sub>/TN ratio 2.7, 원수대 내 부반송비 1:2 조건에서 65%의 질소제거율을 확보하였다.

5) 무산소조 및 혐기조와 호기조에 생물막 담체를 이용할 경우 인 제거 미생물의 무산소조에서 호기조로의 이동 및 순환이 매우 미미한 수준으로 이루어지기 때문에 생물학적 인 제거 효율이 매우 저조하며, Task 4와 같은 전 공정의 부차성장화를 도모하기 위해서는 별도의 화학적 인 제거 시스템이 요구된다.

#### 참고문헌

- Chun-Ying Wu, Satoru Ushiwaka, Hiroshi Horii, and Kazuaki Yamagiwa (2008) Membrane-attached biofilm as a mean to facilitate nitrification in activated sludge process and its effect on the microfaunal population, *Biochemical Engineering Journal*, 40, pp. 430-436.
- Eun-Tae Lim, Gwi-Taek Jeong, Sung-Hun Bhang, Seok-Hwan Park and Don-Hee Park (2009) Evaluation of pilot-scale modified A2O process for the removal of nitrogen compounds from sewage, *Bioresource Technology*, 100, pp. 6149-6154.
- F. FDZ-POLANCO, E. MENDEZ, M. A. URUENA, S. VILLAVARDE\*M and P. A. GARCIA (1999) Spatial distribution of heterotrophs and nitrifiers in a submerged for nitrification, *Wat. Res.*, 34, pp. 4081-4089.
- J. Rajesh Banu, Do Khac Uan and Ick-Tae Yeom (2009) Nutrient removal in an A2O-MBR reactor with sludge reduction, *Bioresource technology*, 100,

- pp. 3820-3924.
- Jian Ling, Shulin Chen (2005) Impact of organic carbon on nitrification performance of different biofilters, *Aquacultural Engineering*, 33, pp. 150-162.
- Julian Carrera, Teresa Vicent and Javier Lafuente (2004) Effect of COD/N ratio on biological nitrogen removal(BNR) from high-strength ammonium industrial wastewater, *Process Biochemistry*, 39, pp. 2035-2041.
- L. X. Xiao, M. Rodgers and J. Mulqueen (2007) Organic carbon and nitrogen removal from a strong wastewater using a denitrifying suspended growth reactor and a horizontal-flow biofilm reactor, *Bioresource Technology*, 98, pp. 739-744.
- M. Vargas, C. Casac and J. A. Baeza (2009) Maintenance of phosphorus removal in an EBPR system under permanent aerobic conditions using propionate, *Biochemical Engineering Journal*, 43, pp. 288-296.
- R. Del Pozo and V. Diez (2003) Organic matter removal in combined anaerobic-aerobic fixed-film bioreactors, *Water Research*, 37, pp. 3561-3568.
- Tak-Hyun Kim, Chulhwan Park, Jinwon Lee, Eung-Bai Shin and Sangyong Kim (2002) Pilot scale treatment of textile wastewater by combined process(fluidized biofilm process-chemical coagulation-electrochemical oxidation), *Water Research*, 36, pp. 3979-3988.
- Wei Zeng, Lei Li, Ying-ying Yang, Xiang-dong Wang and Yong-zhen Peng (2011) Denitrifying phosphorus removal and impact of nitrite accumulation on phosphorus removal in a continuous anaerobic-anoxic-aerobic(A2O)process treating domestic wastewater, *Enzyme and Microbial Technology*, 48, pp. 134-142.
- Yong-zhen Peng, Xiao-lian Wang and Bai-kun Li (2006) Anoxic biological phosphorus uptake and the effect of excessive aeration on biological phosphorus removal in the A2O process, *Desalination*, 189, pp. 155-164.
- 최진수, 김민식, 강구영 (2009) 유동상 담체를 이용한 생활하수의 고도처리 공법개발과 최적운전 조건에 관한 연구, *J. Environ. Sci., Eng* 12, pp.73-77.
- 이택준, (2010) SFBR과 IPFR을 이용한 단일 고도처리 시스템의 개발, 韓國外國語大學校 大學院.
- 환경부, (2010) '09년도 공공하수처리시설 운영관리실태 분석 결과.
- 환경부, (2010) 2012년도 시행 방류수 수질기준.