

## 담체가 첨가된 AO<sub>2</sub>공법을 이용한 수산물 가공폐수의 처리

이 순 · 박상원<sup>†</sup>

계명대학교 환경과학과

(2008년 1월 23일 접수, 2008년 6월 10일 채택)

## Treatment of Seafood Wastewater Using AO<sub>2</sub> System with PU-AC Media

Soon Lee · Sang Won Park<sup>†</sup>

Department of Environmental Science, Keimyung University

**ABSTRACT** : Feasibility of simultaneous removal of organic matter, nitrogen and phosphorus was evaluated by applying AO<sub>2</sub> system to treat wastewater from a seafood processing plant. Treatability test was conducted by incorporating activated sludge from municipal sewage treatment plant with PU-AC media. Inflow concentrations of COD, TN, and TP were 198~1,240 mg/L, 75~577.4 mg/L, and 2.2~53.5 mg/L, respectively. Average removal efficiencies and outflow concentration of COD, TN, and TP were 86.5%, 65.7 mg/L; 81.4%, 53.1 mg/L; and 80.6% 4.07 mg/L, respectively. Stable operation was possible by increasing organic matter, nitrogen, and phosphorus loading rate to seafood wastewater treatment system composed of anaerobic and aerobic reactors. Used PU-AC media was proved to be biodegradable in this AO<sub>2</sub> system by maintaining high biomass concentration in the PU-AC media.

**Key Words** : AO<sub>2</sub> System, Biological Treatment, Seafood Wastewater

**요약** : 수산물 가공폐수를 AO<sub>2</sub>공법에 적용하여 유기물, 질소, 인의 동시제거 가능성을 평가 하였다. 처리도 실험은 도시하수처리장에서 가져온 활성슬러지를 담체에 2주 이상 부착시킨 후 반응조 부피 25%로 증진하여 실험을 행하였다. 유입수 농도는 실험기간 동안 COD: 198 - 1,240 mg/L, TN: 75 - 577.4 mg/L, TP: 2.2 - 53.5 mg/L였다. 운전기간동안 평균 제거효율은 COD: 86.5%(65.7 mg/L), TN: 81.4%(53.1 mg/L), TP: 80.6%(4.07 mg/L)로 나타났다. Anaerobic조와 Aerobic조로 구성된 시스템에 유기물 및 영양염류 부하율이 증가되어도 비교적 안정된 형태의 운전이 가능하였다. 사용된 PU-AC 매디아는 높은 MLSS량을 보유하여 AO<sub>2</sub> 시스템 내에서 생물학적 처리율을 높일 수 있었던 것으로 사료된다.

**주제어** : AO<sub>2</sub>공법, 생물학적 처리, 수산물 가공폐수

### 1. 서론

수산물 가공식품의 발달로 인근해안 지역이 수산물 가공 폐수로 인해 수질오염이 급증하고 있는 실정이다. 우리나라 가공업소는 냉동제품을 처리하는 몇몇 업소를 제외하고는 대부분 해안가에 위치하고 있으며, 주로 중·소기업 형태로 근해에서 잡은 어종이나 해조류를 이용하기 때문에 계절적인 변화가 크고 특히, 월중에서도 물때에 의한 영향 때문에 폐수발생이 일정치 않아 생물학적 처리의 정상운영에 고란을 겪고 있다.<sup>1)</sup>

폐수는 주로 해조류 및 어패류 세척수, 냉동원료인 경우 해동수, 그리고 용기·바닥의 청소수가 폐수 발생량의 대부분을 차지하며 자숙이나 탈수 공정으로 인한 폐수는 그 양은 적으나 오염도가 대단히 높다. 이들 폐수의 특징은 유기물 및 영양염류의 농도가 높고, 쉽게 부패하여 악취나 기생충을 발생시키며, 세척수의 경우 해수와 육수를 혼합

사용함으로 인해 폐수내 염분을 함유하고 있는 것이 특징이다.<sup>2)</sup> 현재 수산물 가공공장에서 배출되는 폐수는 대부분 활성슬러지법에 의하여 처리되고 있다. 활성슬러지법은 유기물의 처리는 비교적 높다는 장점이 있으나 질소 및 인의 제거율이 낮고 부하변동시 슬러지 침강성이 악화되어 오염물질의 제거 효율이 낮아지며, 포기조내 높은 미생물의 확보가 중요하기 때문에 슬러지 반송으로 인한 에너지 소비율도 큰 단점이 있다.<sup>3)</sup> 이러한 단점을 보완하기 위해 담체를 이용한 부유생물막 공정은 반응조내 미생물량의 축적량이 크고, 미생물의 체류시간이 길어지며, 미생물의 유출이 적어 미생물 농도를 높게 유지할 수 있어 슬러지 반송을 줄일 수 있고,<sup>4)</sup> 또한 유기물질과 질소의 생물학적 제거를 한 반응조 내에서 동시에 이루어져 제거율을 높일 수 있고, 질산화균과 같이 비증식 속도가 느린 미생물을 담체내에 높은 농도로 부착·유지시켜 원활한 질산화를 이룰 수 있다. 미생물이 담체에 부착되어 생물상이 다양하게 나타나며, 유지관리가 쉽고, 담체내에 혐기·호기성 미생물이 공존하는 특성을 보여 효과적인 처리효율을 기대할 수 있는 장점이 있다.<sup>5)</sup>

<sup>†</sup> Corresponding author  
E-mail: swpak@kmu.ac.kr  
Tel: 053-580-5556

Fax: 053-580-6292

본 연구에서는 부유메디아 담체를 이용 혐기-호기-호기 조건의 생물막 공정을 이용하여 유기물과 질소의 동시 제거 및 완벽한 질산화를 유도, 인의 uptake율을 높여, 수산물 가공폐수의 유기물 및 영양염류 제거의 처리 가능성을 알아보고자 하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 실험재료

실험에 사용한 폐수는 포항시 남구 구룡포읍에 위치하고 있는 P사의 폐수를 집수조에서 채취하였다. Table 1에 실험에 사용된 폐수의 수질성상을 나타내었다.

활성탄 담지 폴리우레탄 담체(PU-AC)의 경우 Prepolymer인 Hypol-3000(Dow Chemical Co. USA)와 비이온성 계면활성제인 Tween-85(Aldrich Chemical Co., Milwaukee, USA)을 사용하여 제조하였다. Table 2는 담체의 특성을 나타내었다. Fig. 1과 같이 1cm×1cm×1cm 크기로 잘라서 사용하였으며, Fig. 1과 2는 실험에 사용한 담체의 사진과 담체표면의 SEM을 촬영한 것이다.

일반적으로 담체의 크기, 유형, 공극율, 비표면, 친수성 등이 미생물의 부착 및 체류특성 그리고 폐수처리 성능에

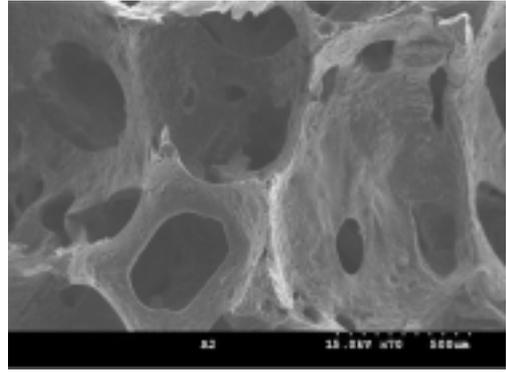


Fig. 2. SEM micrograph of PU-AC.

영향을 미친다. Fig. 2에서 알 수 있듯이 기존 PU에 활성탄(AC)을 첨가함에 따라 담체의 공극이 균일하게 분포하며, 미생물이 부착할 수 있는 공간이 충분함을 알 수 있다.

### 2.2. 실험장치 및 운전조건

본 실험에서 사용된 반응기의 개략도 Fig. 3과 같으며, 반응기 안에 주입한 담체는 활성슬러지를 이용하여 혐기성 미생물과 호기성 미생물을 각각의 조건으로 담체에 2주 이상 부착시킨 후 각각의 반응기에 부피비 25%로 충

Table 1. Composition of seafood wastewater

항목	농도(mg/L)
TOC	498~1,565
COD	198~1,240
TKN	62~549
T-N	75~577
T-P	2.2~53.5
NaCl	650~1,500
SS	360~2,940
pH	6.2~6.8

Table 2. Characteristics of PU-AC media

비표면적(m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )	표면적(m <sup>3</sup> /kg)	Dry density	Wet density	Porosity
650	7.7	98.20	141.0	0.86

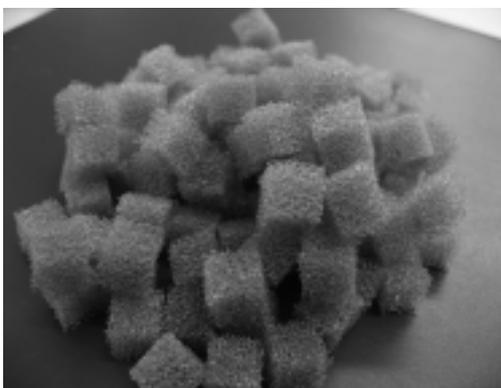


Fig. 1. PU-AC media.

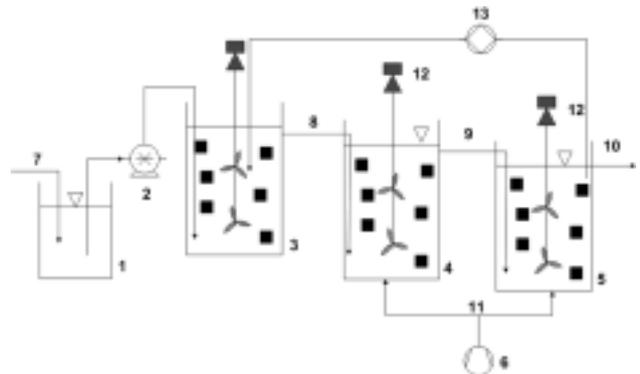


Fig. 3. Schematic diagram of the AO<sub>2</sub> system.

(1: feed tank, 2: flow control pump, 3: anaerobic reactor, 4,5: aerobic reactor, 6: air compressor, 7~10: transfer pipe, 11: air diffuser, 12: mixer, 13: internal recycle pump)



Fig. 4. PU-AC after sticking.

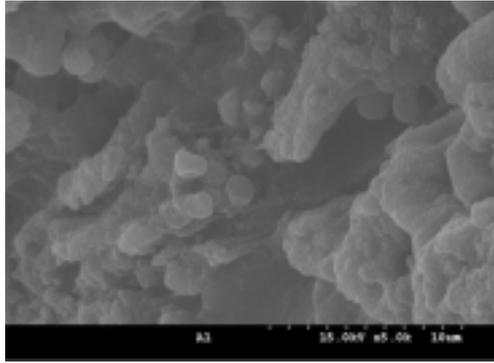


Fig. 5. SEM micrograph of PU-AC in aerobic reactor.

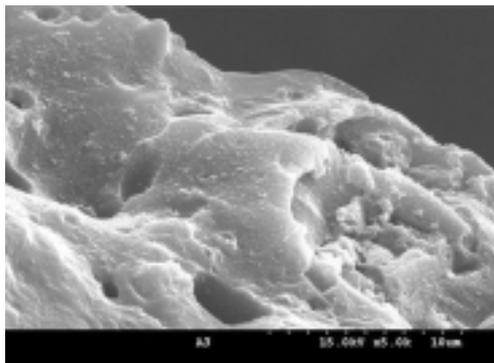


Fig. 6. SEM micrograph of PU-AC in anaerobic reactor.

진 하였다. Fig. 4는 2주간 부착시킨 담체의 사진이며, 반응기 가동 20일 후 각조의 담체 SEM(scanning electron microscopy)사진은 Fig. 5, 6과 같다. 반응기는 총 3단으로 구성하였으며, 혐기조, 호기조-1, 호기조-2조로 구성하였다. 산기관을 반응기 하부에 설치하고, 반응기 상부에 교반기를 부착하여 폐수를 균질하게 혼합할 수 있도록 하였다.

수산물 가공폐수를 feed tank(1)로 유입시켜 pH 6.8~7.5 범위로 조정후 이송펌프(2)를 통하여 혐기조로 유입시켜 1차적으로 폐수를 처리하고, 호기-1조로 유입시켜 혐기조에서 제거되지 않은 유기물 제거 및 질산화를 유도하였으며, 호기-2조는 잔류 유기물 제거 및 완벽한 질산화를 달성할 수 있게 하였다. 호기-2조의 DO농도를 최소화 하여 혐기조의 DO부하에 따른 영향을 최소화 하였다. 운전조건은 Table 3과 같이하여 70일 이상 장기 운전 행하였다.

Table 3. Operating conditions

Reactor volume	60 L	Anaerobic	20 L
		Aerobic-1	20 L
		Aerobic-2	20 L
HRT	36 hr	Anaerobic	12 hr
		Aerobic-1	12 hr
		Aerobic-2	12 hr
External recycle		0.2~0.5Q	
Internal recycle		1~2Q	
DO(mg/L)		Aerobic-1 : 3~5, Aerobic-2 : 1~2	
pH		6.8~7.5	
Temperature(°C)		Room temperature	

### 2.3. 실험방법 및 분석

시료의 분석은 혐기조, 호기조-1, 방류수를 각 유출부분에서 1회/2 day 약 100 mL을 채취하여 GF/C(Whatman, 0.45 μm) 필터로 여과한 후 수질공정시험법에 따라 시료를 분석하였다.

### 2.4. 담체의 부착 미생물량(MLSS) 측정

담체 내 부착미생물량(MLSS)을 확인하기 위해서 다음 실험에 따라 행하였으며, 실험에 사용된 담체는 Pilot 반응기에서 20일 경과 후 실험기간동안 7회, 무작위로 20개를 채취하여 평균하여 실험을 행하였다.

#### 2.4.1. 미생물 부착량(MLSS) 실험방법

- 혐기 및 호기조에서 채취한 담체를 상온에서 10분 정도 방치.
- 건조기(110°C)에서 24시간 건조 후 10분 방냉.
- 담체의 무게를 측정 [A(mg)].
- 0.1% Sodium pyrophosphate 용액으로 미생물을 10분간 vortex로 진동시켜 털어냄.
- 남은 용액으로 담체를 씻어내고, 증류수로 3~4번 씻어냄.
- 건조기(110°C)에서 24시간 건조 후 방냉.
- 미생물을 씻어낸 담체의 무게 측정 [B(mg)].
- 부착된 미생물량(MLSS) : C(mg) = A-B

#### 2.4.2. 미생물 부착량(MLSS) 계산

$$\text{미생물 부착량(g/cm}^3\text{)} = (A-B) / (20\text{개} \times 1\text{ cm}^3/\text{개})$$

A : 미생물이 부착된 담체의 무게(mg)  
 B : 미생물을 씻어낸 담체의 무게(mg)  
 1 cm<sup>3</sup> : 담체 1개의 1개의 체적  
 (담체부피 1 cm × 1 cm × 1 cm = 1 cm<sup>3</sup>)

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 유기물 제거

실험에 사용된 수산물 가공폐수는 P사에서 발생하는 슬폐수로 유기물 및 영양염류의 부하량이 상당히 높았다. 담체를 사용하는 생물막 공정은 부유생물막 공정에 비해 충격부하에 강하다고 알려져 있다. 실험기간 동안 부하량에 따른 제거효율 변화를 Fig. 7, 9에 나타내었다. 부하량이 증가함에 따라 제거효율의 감소 없이 안정적으로 운전이 되었다. TOC의 경우 평균 90.6%, COD의 경우 86.5%의 제거효율을 유지하였다. 적용부하율과 제거량은 양호한 직선관계를 나타내고 있다(Fig. 7, 9).

Pilot Plant 실험에 의한 조별 유기물 제거농도를 측정된 결과 Fig. 8, 10과 같이 대부분의 유기물이 혐기조에서 제거되는 것을 알 수 있다. 이것은 호기2조에서 반송되는 질산성 질소 폐수 혼합액에 의한 희석효과, 혐기 과정에서 인 방출에 의한 유기물 흡수 그리고 질산성질소의 질소

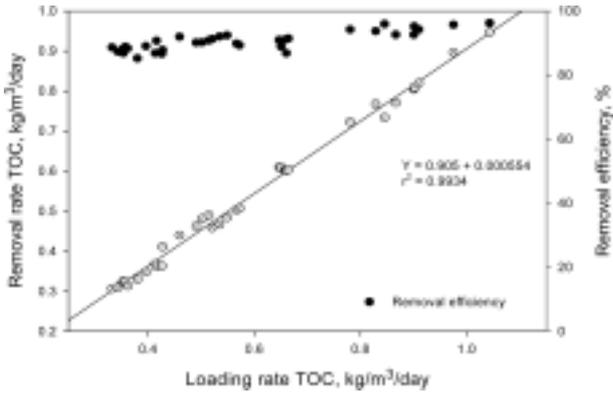


Fig. 7. TOC removal as a function loading rate.

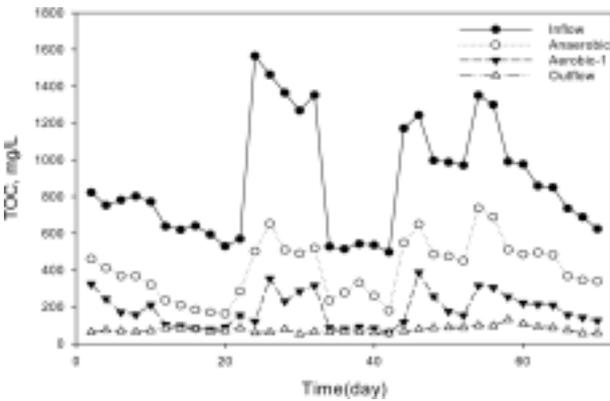


Fig. 8. TOC variation at various operating steps.

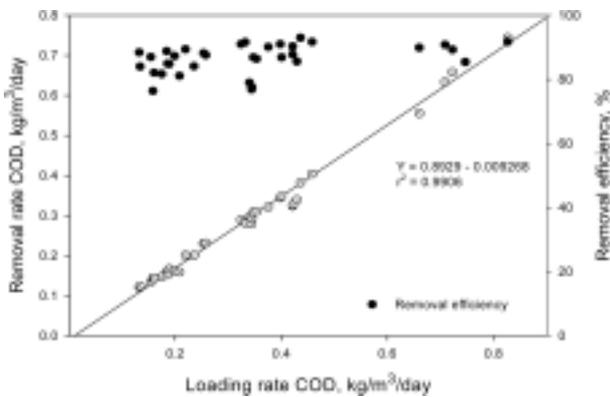


Fig. 9. COD removal as a function loading rate.

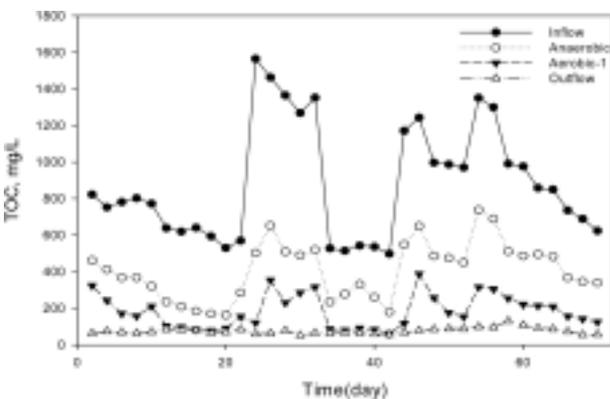


Fig. 10. TOC variation at various operating steps.

가스 환원시 탄소원으로 사용되거나, 담체에 의한 흡착·흡수로 사료된다.

유동상 생물막 반응기는 미생물이 부착 성장할 수 있도록 담체를 사용함으로써 기존의 활성슬러지 공정보다 동일 용적당 많은 미생물을 유지하여 고효율을 얻을 수 있고, 활성슬러지법에 비해 갑작스런 부하 변동 및 독성 폐수 유입에 대해 안정도가 크다는 장점이 있다. 그림에서 보듯이 유기물 농도가 1,400 mg/L 이상 에서도 안정적인 처리 효율을 보였다. 이결과로 유기물의 갑작스런 부하변동에도 안정한 운전이 가능하다고 사료된다. 실험기간 동안 평균 유출수 농도는 TOC가 75.5 mg/L, COD가 65.7 mg/L 였다.

### 3.2. 질소 제거

Fig. 11은 부하량 증가에 따른 질소의 제거효율을 나타내었다. 부하량이 증가 되어도 제거효율이 평균 81%을 유지하며 안정적으로 운전되었다. 질소의 제거 과정은 생물학적으로 복잡한 전환과정을 거쳐야한다. 혐기조에서의 COD/N 비나 호기조에서의 질산화 각조의 pH나 온도는 질소제거에 영향을 미친다. 유입원수의 pH는 6.2~6.8 호기-2조의 반송수를 고려할 때 평균 7.3을 유지하여 저해할만한 수준으로 떨어지지 않았다. 또한 미생물이 유기물을 분해할 때 산소대신 질산성 질소를 전자수용체로 이용하여, 유기물과 탈질로 인한 질소제거가 일어난다. 탈질반응에 유기물 분해 반응이 필요한데, 보통 C/N비가 1:3 이상이다. 본 연구에서는 C/N비가 1:2~1:3 정도였으나 수산물 가공폐수는 분해가 쉬운 유기물이 많아 혐기조로 주입하여 탈질시 먼저 이용되어 적정 C/N비보다 낮은 값에도 안정적인 탈질이 이루어 졌다고 사료된다. 더욱이, 호기조에서 성장속도가 느린 질산화 균을 보다 높은 농도로 유지할 수 있어 충분한 질산화를 얻을 수 있었기 때문으로 사료된다.

Plant에 의한 조별 TN 제거 농도를 측정된 결과는 Fig. 12에 나타내었다. 질소의 대부분이 혐기조에서 제거되었다. 높은 질소농도에서도 탈질이 원활이 일어나고 있음을 알 수 있다. 호기-1조에서 DO농도를 3~5 mg/L로 높게

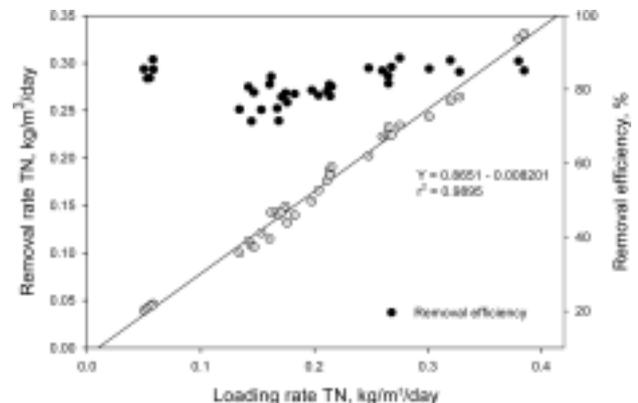


Fig. 11. TN removal as a function loading rate.

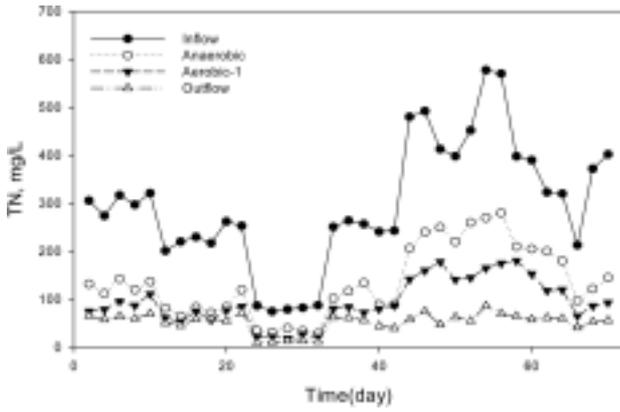


Fig. 12. TN variation at various operating steps.

유지하여 완전할 질산화를 유도하고, 호기-2조에서 DO 농도를 1~2 mg/L 정도로 최소화 하여 혐기조로 반송시 탈질에 영향을 최소화 하였다. 40일 이상 운전시 TN 450 mg/L 이상의 높은 질소농도에서 혐기조 뿐만 아니라 호기조에서도 질소가 제거됨을 알 수 있다. 호기조 담체에 유입수의 고형물 및 미생물의 부착과, 내부에 부착된 미생물에 의해 국지적인 혐기성 영역이 형성되어 탈질이 일어났으리라 사료된다. Hong 등<sup>6)</sup>도 활성슬러지 플록의 내부의 무산소 영역에서 탈질이 일어나는 것으로 보인다고 보고하였다. 담체부착 미생물의 경우 교반, 전단응력, 담체의 충돌, 폭기에 의해 담체외부 미생물은 흡착과 탈착을 반복하지만, 담체내부에 미생물은 이러한 영향에 보호되면서 성장하여 탈질과 유기물 제거를 이룰 수 있는 것으로 보인다. 실험기간동안 평균 유출농도는 53.1 mg/L이었다.

### 3.3. 인의 제거

Fig. 13은 부하량에 따른 TP의 제거효율 및 Fig. 14는 조별 TP 제거 농도를 측정된 결과를 나타내었다. 호기조에서 대부분의 인이 제거되었다. 인은 혐기조의 혐기성 미생물에 의해 유기물을 PHB 형태로 저장하고 Polyphosphate의 가수분해에 의해 발생하는 에너지를 이용하여 유입수의 인농도 보다 3~5배의 인이 용출된다. 용출된 인의 호기조에서 과잉흡수에 의해 제거된다. 보통 생물학적 처리에 의해 97% 이상 제거가 가능하다. Fig. 14를 보면 혐기조에서 인의 농도가 높게 유지 되었으며 유입수의 농도를 초과 하는 경우도 있었다.

실험에서도 인의 제거는 호기조에서 대부분 일어났다. 담체에 의한 생물막 미생물과 부유미생물에 의해서 과잉 섭취된 것으로 사료된다. 잔류 유기물이 남아 있을 경우 유기물 산화가 일어난 후 인을 섭취하기 때문에 호기-1 호기-2조를 거치면서 잔류 유기물을 제거 후 충분한 인의 제거가 일어난 것으로 보인다. 또한 DO농도가 부족하면 인의 과잉 흡수가 줄어들기 때문에 실험에서는 호기조의 DO농도를 2~5 mg/L로 유지하여 인의 흡수에 악영향을 주지 않았다고 사료된다.

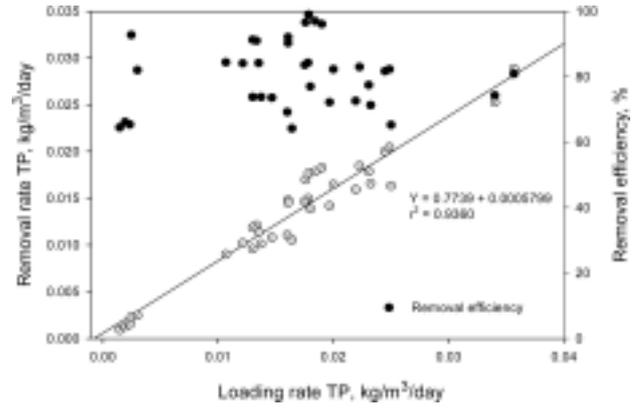


Fig. 13. TP removal as a function loading rate.

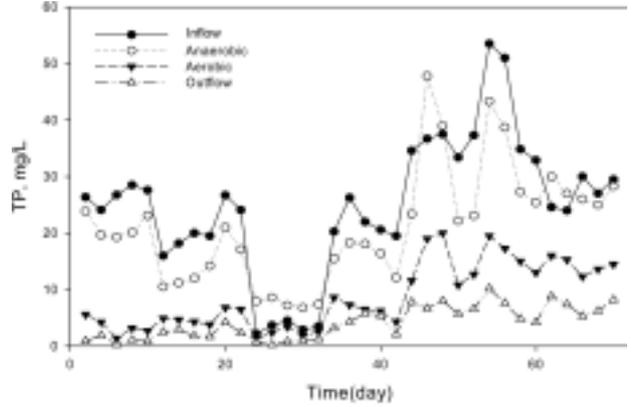


Fig. 14. TP variation at various operating steps.

인의 제거에서 또한 중요한 인자가 슬러지 인발이다. 슬러지를 주기적으로 인발하지 않을 경우 침전조에서 인의 재용출이 일어나 방류수 인의 농도를 높이는 결과를 초래할 수 있다.

결과적으로 생물학적 인 제거는 미생물 내 에너지원으로 축적된 인을 잉여슬러지로 처리함으로써 사실상 달성될 수 있다.

### 3.4. 기타 실험결과

실험기간 동안 각조의 부유 SS농도는 Fig. 15에 나타내었다. 혐기조가 평균 1,720 mg/L, 호기조가 평균 2,200 mg/L 이상을 유지하여 담체내 미생물 농도와 함께 고려할 때 유기물 및 영양염류를 제거하기에 충분하였다. Table 4는 혐기조 및 호기-1조의 담체를 임의로 20개 선택하여 7회 실험 후 평균하여 미생물 부착량(MLSS)을 비교하였다. 혐기조의 담체가 호기조보다 높게 나타났다. 호기조에서의 포기과 교반에 의한 탈리가 더 크게 이루어져 Fig. 15에 보듯이 호기조의 SS농도가 혐기조보다 높게 유지 되었다. 하지만 유기물 및 질소의 대부분이 혐기조에서 제거되던 점을 미루어 볼 때 혐기조내 담체에 부착된 높은 미생물량(MLSS)으로 인해 유기물 및 질소의 안정적 제거가 유지되었다고 사료된다.

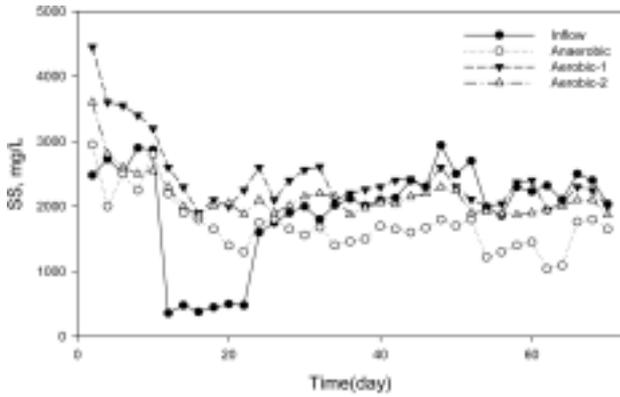


Fig. 15. SS variation at various operating steps.

Table 4. Microorganism quantity of aerobic-1 and anaerobic reactors

항목	미생물부착된 (MLSS)		미생물제거 (MLSS)		미생물량 (MLSS)		미생물(MLSS) 부착량 (mg/cm <sup>3</sup> )	
	담체무게 A(g)	담체무게 B(g)	호-1	혐	호-1	혐	호-1	혐
1회	0.728	0.734	0.57	0.56	0.158	0.174	7.9	8.7
2회	0.742	0.832	0.582	0.578	0.16	0.254	8	12.7
3회	0.744	0.779	0.574	0.591	0.17	0.188	8.5	9.4
4회	0.766	0.829	0.59	0.569	0.176	0.260	8.8	13
5회	0.706	0.822	0.552	0.55	0.154	0.272	7.7	13.6
6회	0.726	0.771	0.558	0.575	0.168	0.196	8.4	9.8
7회	0.708	0.816	0.564	0.584	0.144	0.232	7.2	11.6
평균	0.73	0.80	0.57	0.57	0.16	0.23	8.07	11.26

Fig. 16은 반응조내 SS농도와 부착 미생물량(MLSS)의 관계를 나타내었다. 혐기조의 경우 부유미생물량이 높을수록 담체내 부착되는 미생물량(MLSS)이 높은 것으로 나타났으나, 호기조의 경우 포기로 인해 일정량이 유지 되었다. Fig. 17은 실험기간동안 평균 ORP 및 pH를 나타내었다. 혐기조는 DO와 ORP가 각각 0.1 mg/L, -200 mV 전후로 유지되어 혐기성 상태가 유지되었으며, 호기조-2를 DO를 최소화하고, ORP를 35 ± 27로 유지시켜 호기조-2로부터 탈질을 유도하여 혐기조의 탈질에 의한 부담을 줄여 질소 제거 효율을 높였다.

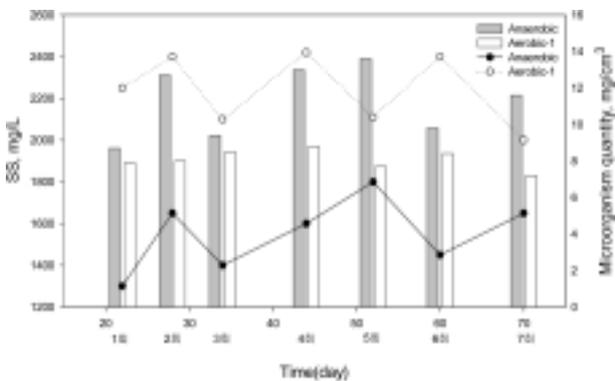


Fig. 16. Relationship between SS and microorganism quantity (MLSS).

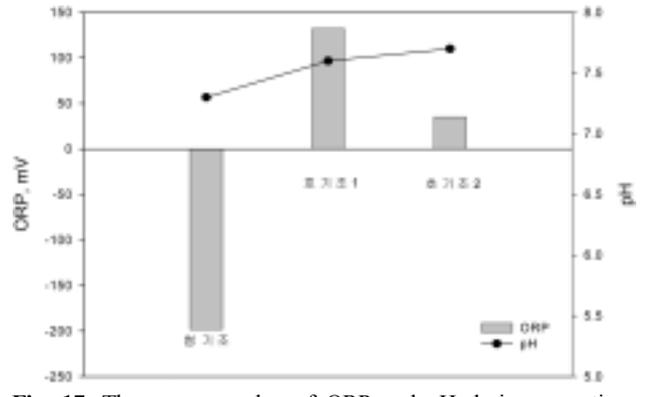


Fig. 17. The average value of ORP and pH during operation.

#### 4. 결론

본 연구에서는 활성탄 담체 폴리에탄 담체를 사용하는 부유메디아 생물막 공정을 이용하여 수산물 가공폐수의 생물학적 처리에 대한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 폴리에탄 담체를 이용한 혐기-호기-호기 부유메디아 생물막 공법을 이용하여 방류수 평균수질 TOC 75.5 mg/L (제거율 : 90.6%), COD<sub>Mn</sub> 65.7 mg/L(제거율 : 86.5%), TN 53.1 mg/L(제거율 : 81.4%), TP 4.07 mg/L(제거율 : 80.6%)로 유지하였다.
- 2) 수산물 가공폐수의 부하량의 변화폭이 크더라도 처리수질이 일정하게 유지되어 안정적으로 운전이 가능하여 하였다.
- 3) 유기물 및 질소의 대부분이 혐기조에서 인의 경우 호기조에서 제거되었고, DO농도를 호기-2조에서 높게 유지하여 완전한 질산화를 유도하였으며, 호기-2조에서 DO농도를 최소화하여 혐기조로의 반응으로 인한 DO 부하 영향을 최소화 하여 탈질과 인의 용출이 원활하였던 것으로 사료된다.
- 4) 호기조의 경우 40일 이후 호기조에서 질소제거가 이루어지기 시작하였는데 담체내의 혐기영역과, 호기-2조의 낮은 DO조절로 인한 질소제거의 출발점이 된 것으로 사료된다.
- 5) 각조 담체의 미생물량(MLSS) 측정결과 혐기조가 호기조보다 높게 나타났다. 대부분의 유기물이 혐기조에서 이루어지며, 원수의 높은 부유물질의 여과 효과, 호기조의 폭기와 같은 영향을 적게 받아 안정적으로 부착되었기 때문이라 사료된다.

#### 참고문헌

1. Balslev, O. P., Lynggaard, J. A., and Nickelsen, C., "Pilot Scale Experiments on Anaerobic Treatment of Wastewater from a Fish Processing Industry," *Water Sci. Technol.*, **22**, 463~474(1990).

2. 백병천, 신함식, “연속회분식 반응기를 이용한 수산물 가공폐수 처리,” 대한상하수도학회지, 1, 18-26(1994).
3. 윤태경, 이강춘, 문병현, 이택순, 구현서, “제올라이트를 첨가한 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 이용한 수산물 가공폐수의 처리,” 공업화학, 14(4), 410~414(2001).
4. Shieh, W. K. and Keenan, J. D., “Fludized Bed Biofilm Reactor for Wastewater Treatment,” *Advances in Biochemical Engineering and Biotechnology*, 33, 131(1986).
5. Jang, A., Kim H. S., and Kim, I. S., “Effect of Nitrate and Nitrite Load on Denitrification Reaction in Anoxic Biofilm Reactor,” *J. of KSEE*, 22(9), 1617~1625(2000).
6. Hong, W. Z., Mavinic, D. S., Oldham, W. K., and Koch, F. A., “Controlling Factors Simultaneous Nitrification and Denitrification in a Two stage Intermittent Aeration Process Treating Domestic Sewage,” *Water Res.*, 33(4), 961~970(1999).