

## Membrane Filter를 이용한 수산물 가공폐수처리에 대한 연구

한동준

강원도립대학 소방환경방재과

## Research of Sea Food Wastewater Treatment using Membrane Filter

Dong-Joon Han

*Dept. of Fire-Environmental & Disaster Prevention, Gangwon Provincial College*

### Abstract

Sea food wastewater including high concentration of organics and nutrients is hard to treat stably by established traditional activated sludge process. This research is aimed to obey more and more of strengthened the law and to secure stable effluents by using advanced treatment process applied membrane filter in aeration tank for treatment of wastewater from marine products.

It must maintain pH of influent over 6.0 to keep up stably biological sludge of advanced treatment process. At 38hr of HRT, removal rates of TBOD and TCOD were 99.9% and 99.4% respectively and TSS also removed with high efficiency. Most organics in the effluent was constituted with soluble type materials, it caused that membrane filter installed aeration tank should remove minute suspended particles. The reactor was operated well to get stable treatment results for operation period, in spite of high loading of organics like that 0.67~1.67 kgTBOD/m<sup>3</sup>/day of organics loading and 0.10~0.21 kgBOD<sub>5</sub>/kgMLSS/day of F/M ratio. At 36~48hr of HRT, removal rates of T-N and T-P were 89.7~90.7% and 91.5~96.0% respectively. It means this treatment process also work to remove nutrients of high concentration. Upon investigation of advanced treatment's operation factors, optimum SRT was about 30days and average SNR that showed tendency to increase according to increase water temperature was calculated 0.014 gN/g MLVSS/d. SDNR was risen in conformity to increase F/M ratio of Non-aeration tank and investigated as 0.038~0.051 gN/gMLVSS/d.

**Key words** : Sea food wastewater, Advance treatment, Membrane filter

---

\*Corresponding author E-mail : handj@gw.ac.kr

## I. 서론

삼면이 바다로 둘러싸인 우리나라는 바다와 인접한 지리적 특성으로 예로부터 수산물을 주원료로 하는 수산물 가공 산업이 발전되어져 왔다. 이러한 수산물 가공업체는 대부분 영세업체가 대부분이며 현재에도 대부분 해안가를 중심으로 산재해 있으며 산업체 규모를 살펴보면 영세한 업체가 대부분이며 이들 업체에서 발생되고 있는 폐수들은 처리과정을 거친 후 인근 하천 및 연안해역으로 배출되고 있다.

일반적으로 수산물 처리공정은 제품형태에 따라 해조류 건제품 공정은 염장·세척·건조 과정, 어패류 냉동품은 해동·세척·탈빙 등의 과정이 패류의 경우 해수 세척 및 탈각 공정을 거쳐 자숙·조미·건조 과정 등을 거치게 된다.<sup>1),2)</sup> 이러한 여러 형태의 가공공정에 따라 발생하는 폐수특성 또한 다양하게 나타난다. 수산물 가공폐수 대부분은 각종 처리 공정을 거치면서 고농도의 부유물질과 유기물들을 함유하게 되는데 현재 수산물 가공업체 대부분은 물리·화학적 처리를 거친 후 재래식 활성슬러지 공법으로 처리하고 있다.<sup>3),4)</sup> 그러나 재래식 활성슬러지 공정으로는 고농도의 유기물과 영양염류를 함유하고 있어 안정적인 처리에 많은 문제점들을 드러내고 있다. 그리고 폐수 처리에 대한 법적 규제는 유기물 중심에서 유기물 뿐 아니라 질소, 인과 같은 영양염류 제거를 점차 강화되고 있다.<sup>5)</sup> 따라서 재래식 활성슬러지 공법이 대부분인 수산물 가공업체의 경우 기존의 재래식 활성슬러지 공법에서 영양염류를 제거할 수 있는 고도처리 공법으로의 전환이 시급한 실정이다. 최근 이러한 가공공정에서 발생하는 폐기물 처리에 많은 공법이 적용되고 있으나 수산물 가공폐수의 특성상 만족할 만한

처리 효율을 얻기 어려운 실정이다. 따라서 지역주민의 환경의식 고취와 점차 강화되는 법 규정에 적용할 수 있는 새로운 처리시스템의 개발이 필요하다.

본 연구에서는 이러한 고농도의 유기물과 영양염류를 함유한 수산물 가공폐수를 처리하기 위한 방안으로 호기조내에 준공사막(Hollow fiber membrane) 공정을 침적한 고도처리 공정을 적용하고자 한다. 호기조내에 준공사막을 설치할 경우 준공사막을 통하여 강제적으로 유출되는 유출수는 부유물질 거의 완전한 상태로 제거하고 기타 유기물 및 영양염류 또한 제거할 수 있다. 본 연구에서는 준공사막 공정을 적용한 고도처리 시스템을 이용하여 수산물 가공폐수 처리를 위한 기초자료를 제공하고 자 한다.

## II. 재료 및 방법

### 1. 실험 장치

연구에 사용된 실험 장치도를 Fig. 1에 나타내었다. 실험에 이용된 반응조는 무산소조, 혐기조, 호기조, 탈질조로 구성되어 있다. 각 조의 유효용적은 무산소조 131.63 L, 혐기조 87.75 L, 호기조 360.0 L, 탈기조 27 L로서, 총 606.38 L로 제작되었다. 반응조의 기본적인 구성은 A<sup>2</sup>/O 공정에 기초하였으며, 무산소조, 혐기조에는 교반기를 설치하여 혼합하였으며, 포기조는 blower와 산기관을 통하여 산소의 공급과 교반을 수행하였다. 포기조 내부에는 준공사막 필터를 설치하였으며(Fig. 2) 시료유입과 유출은 포기조내에 설치한 유입 및 유출 센서를 이용하여 자동으로 유입, 유출이 이루어지도록 하였다.

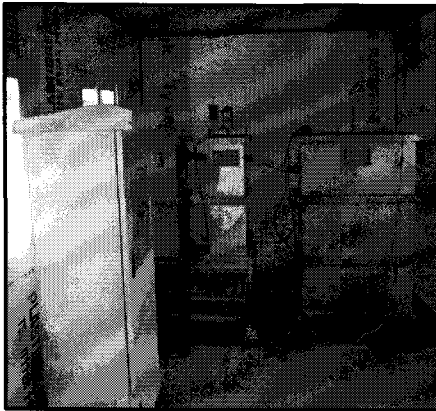


Fig. 1. Advanced Treatment process.

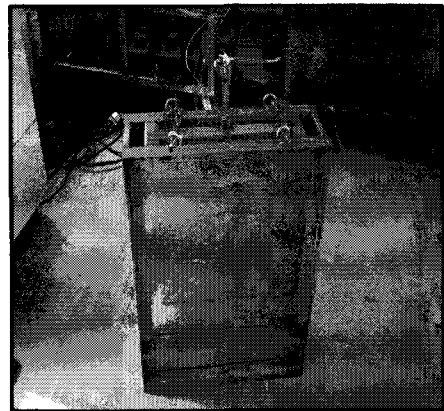


Fig. 2. Hollow fiber membrane.

Table 1. Conditions of this study

Item	HRT	
	48hr	36hr
Flow rate(L/day)	300	400
F/M ratio(kgBOD <sub>5</sub> /kg MLSS/d)	0.047 ~ 0.091	0.075 ~ 0.124
Organic VLR(kgBOD/m <sup>3</sup> /d)	0.67 ~ 1.24	1.10 ~ 1.67
Nitrogen VLR(kgTKN/m <sup>3</sup> /d)	0.094 ~ 0.162	0.209 ~ 0.233
SRT(Days)	23.9 ~ 38.9	34.6 ~ 40.2

### 2. 운전 방법

실험을 위한 슬러지는 인근 하수종말처리장의 SBR 공정의 미생물을 이용하였으며, 반응조에 식중독 후 2주 동안 미생물이 환경에 적응하는 안정화 기간을 두었다. Table 1에는 반응조의 운전조건을 나타내었다. 체류시간은 HRT 48시간과 36시간의 두 조건에서 수행되었으며, F/M 비는 0.047 ~ 0.124 kg BOD<sub>5</sub>/kg MLSS/day의 범위로 운전되었고, 고형물 체류시간(Solids Retention Time, SRT)은 23.9 ~ 40.2일의 범위를 보였다. 유입 유기물의 용적부하는 0.67 ~ 1.67 kgBOD/m<sup>3</sup>/day의 범위로 조사되었으며, 질소의 용적부하는 0.094 ~ 0.233 kgTKN/m<sup>3</sup>/d의 범위로 운전되었다. 실험은 상온에서 수행되었으며, 수질 분석은 Standard Methods와 수질오염공정시험법에 준하여 분석하였다.<sup>6),7)</sup>

### 3. 유입시료

연구에 사용된 시료는 수산물 가공공장이 위치한 농공단지내 폐수정화시설의 가압 부상조를 거친 방류수를 원수로 이용하였으며, HRT에 따른 유입수의 성상을 Table 2에 제시하였다. 측정된 TBOD의 농도는 TCODcr의 약 70%로 조사되었다. TSS 농도는 48hr에서 118 ~ 273mg/L의 범위를 보였으며, 36hr에서는 180 ~ 530mg/L의 범위로 조사되었다. 이는 TBOD와 TCODcr의 농도에 비하여 매우 낮은 값으로 본 연구에 사용된 폐수내 유기물은 대부분이 용존 상태로 존재함을 알 수 있다. 영양염류인 T-N은 48hr에서 199 ~ 334mg/L의 범위를 보였으며, 36hr에서는 329 ~ 391mg/L의 범위로 조사되었다. T-P의 농도는 체류시간에 따라 각각 21.2 ~ 32.2mg/L와 21.8 ~ 25.5mg/L의 범위를 보였으며, PO<sub>4</sub>-P의 평균 농도는 각각 1.85와 1.40mg/L로서 인의 대부분은 입자상 인으로 존재함을 알 수 있었다.

Table 2. Characteristics of influent wastewater

(Unit : mg/L, except pH)

Item	HRT	
	48hr	36hr
pH	6.8 ~ 7.2	6.4 ~ 7.1
TBOD/SBOD	1,322 ~ 2,454/796 ~ 1,248	1,563 ~ 2,481/798 ~ 1,362
TCOD <sub>Cr</sub> /SCOD <sub>Cr</sub>	2,390 ~ 3,105/1,524 ~ 2,370	2,306 ~ 3,456/1,557 ~ 2,452
TSS	118 ~ 273	180 ~ 530
T-N	199 ~ 334	329 ~ 391
TKN	187 ~ 322	311 ~ 346
NH <sub>3</sub> -N	71 ~ 133	54 ~ 176
T-P	21.2 ~ 32.2	21.8 ~ 25.5
PO <sub>4</sub> -P	1.6 ~ 2.1	0.4 ~ 2.0
Alkalinity	193 ~ 245	193 ~ 239
BOD/T-N	4.7 ~ 8.8	4.6 ~ 6.6
BOD/T-P	55.0 ~ 88.8	64.1 ~ 99.8

유입원수의 BOD/TN 비는 4.6 ~ 8.8의 범위로서, single sludge system을 적용하여야만 효과적인 질소의 제거가 수행될 것으로 판단된다. 일반적으로 폐수의 BOD/TKN 비는 3 이하일 경우 탄소산화와 질산화를 효과적으로 달성하기 위하여 two sludge system을 도입하고, BOD/TKN 비가 5 이상이면 single sludge system을 도입하고 있다. Henze(1991) 등은 유기 탄소원으로 glucose 이용시 질소제거를 위한 COD/N 비가 최소한 4.2 이상이 되어야 가능하고, BNR에서 질산화-탈질화 혼합공정 운전시 질소 제거를 위해 COD/N 비를 5 ~ 10 이상 유지하는 것이 일반적이라고 보고하였다. 또한, BOD/T-P 비는 55.0 ~ 99.8의 범위로서 효과적인 인의 제거가 가능하리라 판단된다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 운전특성

수산물 폐수내의 유기물과 질소를 효과적으로 제거하고자 본 연구에서는 SBR 반응조의 슬러지를 이용하였다. 이러한 이유는 현장의 수산물 가공업체의 슬러지는 유기물 제거 미생물이 우점하고 있으나 고도처리 미생물의 경우 유기물뿐만 아니라 질산화 및 탈질화 미생물들도 포함하고 있기 때문에 초기 적응시간을 단축할 수 있기 때문이다. 슬러지

식중 후 처음 2일간은 하수와 수산물가공폐수를 혼합하여 주입하고 회분식 공정으로 운전시켜 반응조의 순용능력을 향상시켰다.

운전초기 반응조로 유입되는 부상분리 유출수가 pH가 4.5이하의 산성폐수가 유입되어 반응조내 슬러지가 모두 활동성이 저하되고 슬러지 색깔이 변하는 경우가 발생하였다. 산성폐수가 유입시 반응조내의 슬러지 색깔 변화 뿐 아니라 반응조내 용존성 유기물의 제거 또한 불량해져 반응조를 정상상태로 유지하기가 어려웠다. 따라서 새로운 슬러지로 다시 식중 후 반응조로 유입되는 폐수의 pH를 항상 6.0이상을 유지할 수 있도록 조절하였다. 유입 pH의 경우 일반 활성 슬러지 뿐 아니라 질산화 미생물의 성장에도 많은 영향을 미치기 때문에 초기 pH 조절을 매우 중요하다. 적정 pH는 연구자에 따라 다소 달리 제시되고 있으나 일반적으로 7.5 ~ 8.5 범위를 제시하고 있다.(Focht and Chang, 1975). 그리고 질산화시 최적 범위로 부터 pH 7.1이하, 9.8이상에서는 미생물의 활성도가 50%정도 감소되는 것으로 알려져 있다. 그러나 질산화 미생물은 초기에는 pH 7 ~ 8범위가 적정하지만 호기 조건으로 성장기간이 지속될 경우 낮은 pH에서도 최대 성장률을 이루고 미생물의 축적이 가능하며(Haug and McCarty, 1972), 유기물의 산화와 질산화에 의한 CO<sub>2</sub>증가로 인하여 pH가 5.8 ~ 6.0으로 감소되어도 질산화가 잘 이루어진다고 보고되어 있다(Stankewich, 1972).



Fig. 3. Activated sludge in oxic zone.

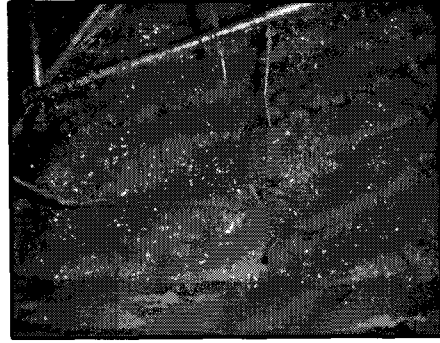


Fig. 4. Activated sludge in steady state.

Fig. 3은 산성폐수 유입으로 인한 포기조 슬러지 상태를 제시하였으며, Fig. 4에는 정상상태의 포기조 슬러지 상태를 제시하였다.

## 2. 유기물제거

Table 3에는 수리학적체류시간(HRT)에 따른 유입수 및 유출수의 유기물 농도와 제거효율을 평균값으로 제시하였다. 체류시간 48hr의 경우, 유출수의 평균 TBOD 농도는 2.4mg/L로 나타났으며, 이에 따른 제거효율은 99.9%의 매우 높은 값을 보였다. HRT 36hr의 경우 유출수의 TBOD 농도와 제거효율은 각각 3.7mg/L와 99.8%로서 체류시간의 변화에 따른 TBOD 처리수질의 차이는 미미한 것으로 나타났다. TCODcr의 경우 체류시간 48hr의 유출수 농도와 제거효율은 각각 11.8mg/L와 99.6%로 조사되었으며, 36hr에서는 각각 14.3mg/L와 99.5%로 나타났다. 한편, HRT 48시간에서 유출수내 SBOD/TBOD 비와 SCODcr/TCODcr의 비는 각각 0.79, 0.92로 조사되었으며, HRT 36시간에서는 각각 0.84와 0.90으로서 유출수내 유기물의 대부분은 용존성 물질로 구성되어 있음을 알 수 있었다. 이는 본 처리공정의 호기성조에 침적된 증공사막이 미세한 부유성 물질까지도 제거한 것에 기인하며, 유출수내의 TSS 농도를 보면 보다 명확히 설명된다. HRT 48시간과 HRT 36시간에서 유출수의 TSS 농도는 공히 1.0mg/L로 조사되었으며, 이에 따른 제거

율은 각각 99.4%와 99.6%로서, TSS만을 고려할 때 상수원수 1급수 수준의 깨끗한 수질임을 알 수 있다.

Fig. 5 부터 Fig. 6에는 운전시간에 따른 유기물(BOD, COD)의 농도와 제거율의 변화를 체류시간으로 구분하여 제시하였다. 모든 항목에서 운전일수 13일까지는 다소 불안정한 값을 보였으나, 13일 이후 HRT 48시간의 조건에서는 안정적이고 매우 낮은 유출수의 농도를 보였으며, 이에 따른 제거율은 99% 이상으로 나타났다. 특히 TBOD의 유출수 농도는 5 mg/L이하로서 생물학적으로 분해 가능한 유기물은 거의 제거되는 것으로 조사되었다. 전 운전기간동안 TBOD와 SBOD의 유출수 농도, 그리고 TCOD와 SCOD의 유출수 농도는 별 차이가 없었는데, 이는 Table 3에 제시한 바와 같이 TSS의 제거 특성으로 인한 결과로 판단된다.

종합적으로 본 처리도 실험 결과 TBOD, TCOD, TSS의 제거효율은 매우 우수한 것으로 조사되었으며, 각각의 유출수 농도의 경우 체류시간의 변화에 상관없이, 농공단지의 폐수종말처리시설 방류수수질 기준인 BOD 30mg/L, COD 40mg/L, SS 30mg/L를 모두 만족하는 것으로 나타났다. 또한, 2013년 1월 이후 강화되어 적용되는 BOD 10mg/L, COD 40mg/L, SS 10mg/L의 기준<sup>5)</sup> 역시 모두 만족하는 것으로 나타났는데, 이는 증공사막 공정을 적용한 고도처리 공정의 중요한 특성을 보여주는 결과로 판단된다.

Table. 3 Variation of organic matter due to HRT

Item	48hr			36hr		
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal (%)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal (%)
TBOD	1920.1	2.4	99.9	1997.7	3.7	99.8
SBOD	989.3	1.9	99.8	1.57.4	3.1	99.7
TCOD <sub>Cr</sub>	2742.5	11.8	99.6	2986.8	14.3	99.5
SCOD <sub>Cr</sub>	1879.7	10.8	99.4	2086.6	12.9	99.4
TCOD <sub>Mn</sub>	578.2	11.9	97.9	535.7	15.9	97.0
SCOD <sub>Mn</sub>	270.6	10.7	96.0	234.3	14.7	93.7
TSS	163.3	1.0	99.4	285.7	1.0	99.6
VSS	235.8	0.8	99.7	280.7	0.8	99.7

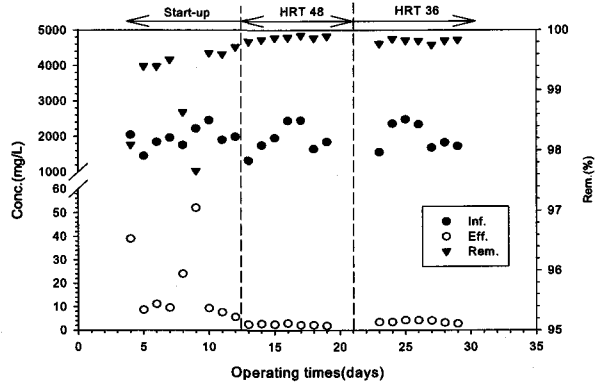


Fig. 5. Variation of TBOD concentration during operation time.

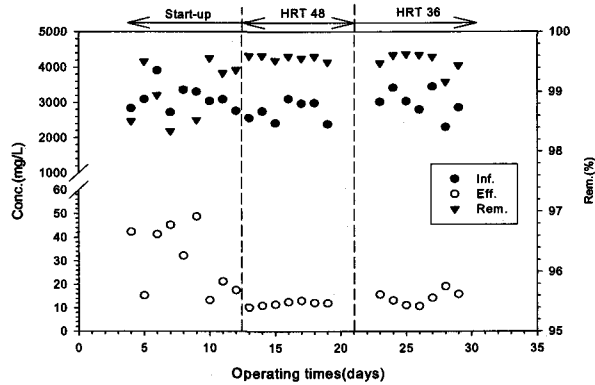


Fig. 6. Variation of TCOD concentration during operation time.

Fig. 7과 Fig. 8에는 유기물 용적부하 (kgTBOD/m<sup>3</sup>/day)에 따른 COD와 BOD의 유출수 농도와 제거효율을 각각 나타내었다. 본 연구에서 안정화 기간 이후 처리공정은 0.67~1.67 kgTBOD/m<sup>3</sup>/day의 BOD 용적 부하로 운전되었다. 유기물 용적부하가 변화함에 따라 유출수의 TBOD 농도는 1.9~4.3mg/L의 범위를 보였으며, 이에 따른 제거율은 99.8~99.9%의 범위로 조사되었다. TCOD의 경우 10.2~19.2mg/L 범위의 유출수 농도와 99.2~99.6% 범위의

제거효율을 얻을 수 있었다. BOD 용적부하에 따른 TSS의 유출수 농도는 0.5~1.3 mg/L의 범위를 보였으며, 이에 따른 제거율은 99.1~99.8%의 범위로서 비교적 높은 유기물 용적부하에도 불구하고 안정적인 처리수질을 얻을 수 있었다. 운전기간동안의 F/M 비는 0.10~0.21kgBOD<sub>5</sub>/kgMLSS/day의 범위로 운전되었는데, F/M 비가 증가함에 따라 유기물의 유출수 농도는 점차적으로 증가하였다.

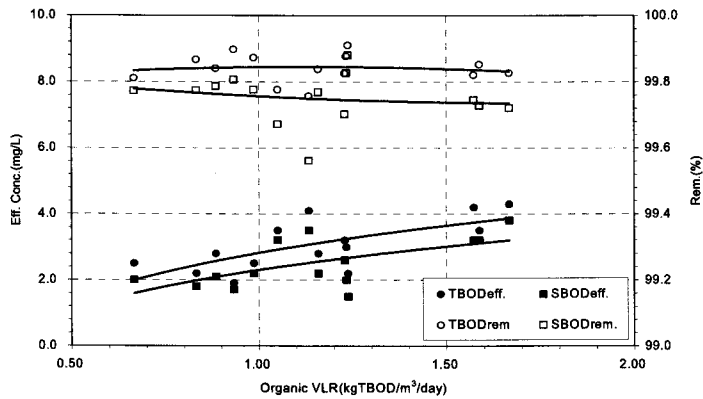


Fig. 7. Effluent BOD Concentration and total removal rate due to VLR.

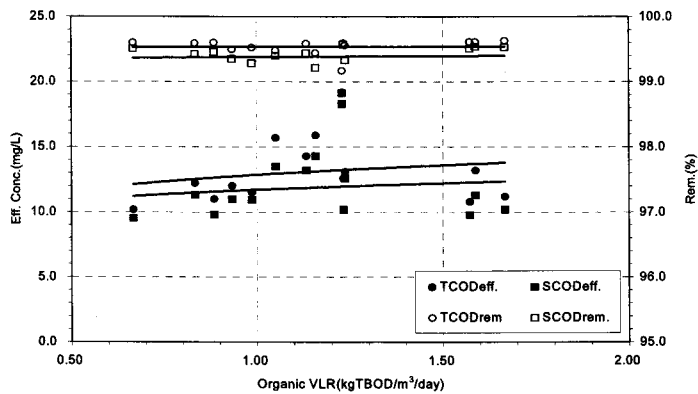


Fig. 8. Effluent COD Concentration and total removal rate due to VLR.

### 3. 영양염류 제거

생물학적 처리도 실험의 체류시간에 따른 Nitrogen(T-N, TKN,  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ ) 유입 및 유출 농도와 제거율을 Table 4에 평균값으로 제시하였다. 체류시간 48hr에서 T-N의 유출수 농도는 30.1mg/L, 36hr에서는 33.5mg/L로서 거의 유사하였으며, 이에 따른 제거효율은 각각 89.7%와 90.7%로 조사되었다. 암모니아성 질소( $\text{NH}_3\text{-N}$ )의 유출수농도와 제거율의 경우, 48hr에서는 4.4mg/L와 95.6%로 조사되었으며, 36hr에서는 7.3mg/L와 93.3%로서 HRT 48시간에서의 제거율이 다소 높은 것으로 나타났다. 유출수내 질산염의 농도는 HRT 48 시간의 경우 14.7mg/L로 조사되었으며, HRT 36 시간에서는 11.3mg/L로 나타났다.

Fig. 9와 Fig. 10은 반응시간에 따른 TKN과 암모니아성 질소의 유입수 및 유출수의 농도와 제거율을 나타낸 것으로, 안정화 기간 동안 TKN과  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 호기성조 유출수의 농도는 매우 불규칙하였다. 그러나 안정화 단계 이후에서는 유입수의 농도 변화에도 불구하고 매우 안정적인 수질과 제거율을 보였는데, TKN의 유출수 농도와 제거율은 각각 4.1~11.5mg/L와 96.6~98.3%의 범위로 조사되었다. 또한,  $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 경우 유출수 농도와 제거율은 각각 2.5~10.5mg/L와 84.1~97.2%의 범위로 조사되었다.

전체적으로 체류시간의 변화에도 불구하고, 유출수의 질소농도는 비교적 안정적인 것으로 나타났으며, 총질소(T-N)의 방류수 수질은 농공단지 폐수종종말처리시설

방류수 수질기준인 60mg/L이하를 만족하는 것으로 나타났다. 그러나 2013년 이후 강화되는 기준인 20mg/L은<sup>5)</sup> 만족시키지 못하는 것으로 나타나 향후, 추가적인 조치가 필요할 것으로 판단되는데, Table 4에서 알 수 있듯이 유출수내의  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도가 상당한 것으로 보아 처리공정내의 탈질율을 증가시키면 이에 효과적인 대처가 될 것으로 사료된다.

본 처리도 실험에 있어 탈질화 및 질산화에 대한 영향인자들을 살펴보면, pH의 경우 전체적으로 5.5~7.6의 범위로서 Metacalf와 Eddy(1973)가 제시한 탈질화를 위한 최적 pH인 6.5~7.5, Focht(Focht, D. D., Chong, A. C., Adv. Appl. Microbiol., 20, 631, 1975)와 Loveless(Loveless, J. E., Painter, H. A., J. Gen. Microbiol., 52, 1~14, 1968)가 질산화의 적정 범위로 제시한 pH 7.5~8.5의 범위 보다는 낮게 운전된 것으로 나타났다. 그러나, Hang(Hang, R. T., McCarty, P. L., JWPCF, Vol. 44, No. 11, 1972)과 Stankewich (Stankewich, M. J. Jr., Paper presented at the 27th Annual Purdue Industrial Waste Conference, Purdue Univ., May 2-4, 1972)에 의하면 질산화 미생물은 초기에는 pH 7~8의 범위가 적정 성장환경이지만, 성장기간이 지속됨에 따라 낮은 pH에서도 최대 성장률을 이루며 미생물의 축적이 가능하다고 보고되어 있어, 충분한 적응기간을 거친다면 pH로 인한 질산화 및 탈질의 저해현상은 없는 것으로 사료된다.

Table. 4 Variation of Nitrogen concentration by HRT

Item	48hr			36hr		
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal (%)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal (%)
T-N	293.3	30.1	89.7	359.7	33.5	90.7
TKN	266.3	5.6	97.9	333.6	9.1	97.3
$\text{NH}_4\text{-N}$	98.9	4.4	95.6	109.4	7.3	93.3
$\text{NO}_3\text{-N}$	0.0	14.7	-	0.0	11.3	-



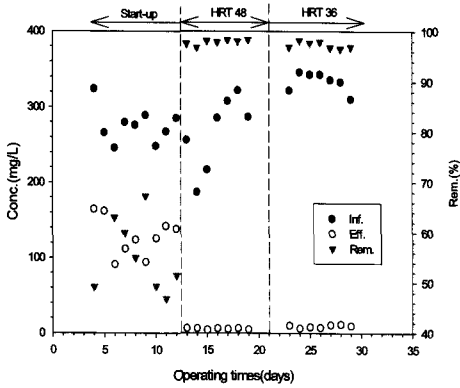


Fig. 9. Variation of TKN concentration during operation time.

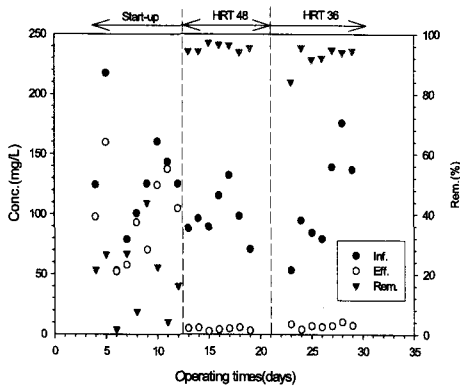


Fig. 10. Variation of  $\text{NH}_4^+\text{-N}$  concentration during operation time.

Table 5에는 운전기간 동안 인의 유입 및 유출농도와 제거효율을 평균값으로 제시하였다. HRT 48hr와 36hr에서의 유출수의 T-P 농도는 각각 1.1mg/L와 2.0mg/L로서 이에 따른 제거율은 96.0%와 91.5%로서 매우 높은 총 인의 제거율을 보였다. HRT에

따른 유출수의 Ortho-P 농도는 각각 0.3mg/L와 1.5mg/L로서 HRT 48 시간에서 더 낮은 농도를 보였는데, 이는 호기성조 인 섭취 미생물의 더 긴 기질 접촉시간에 기인하는 것으로 판단된다.

Ekama(Ekama, G. A., Wat. Sci. Tech, Vol. 15, 1983)는 인 제거를 위한 적정 COD/T-P비는 약 25정도라고 하였으며, EPA(Design Manual Phosphorus Removal, EPA/625/1-87/001, 1987)에서는 적정 TBOD/T-P비가 20~25라고 제시하였다.<sup>8)</sup> 본 실험에서 유입수의 TBOD/T-P비는 평균 72.1~82.7로서 인 제거를 위한 적정비율로 나타났으며, 이에 따라 T-P의 유출수 농도도 매우 낮게 나타난 것으로 조사되었다. 또한, Table 5에서도 알 수 있듯이 유입수내 대부분의 인이 입자상 인으로 존재하기 때문에 호기성조의 증공사막에서 부유물질의 제거시 인도 함께 제거된 것도 높은 총인의 제거에 중요한 역할을 담당한 것으로 판단된다.

Fig 11에는 반응시간 동안의 총인의 유입, 유출수 농도와 이에 따른 제거율의 변화를 제시하였다. 총인의 경우 유기물과 질소와는 달리 안정화 기간에도 비교적 안정적인 유출수 수질과 제거율을 보였다. 안정화 기간 이후, 유출수의 농도는 0.5~3.2mg/L범위로서 더욱 안정화 되었으며, 이에 따른 제거율은 87.1~97.2%의 범위로 조사되었다. 또한, 48시간의 체류시간에서 보다 높은 총인의 제거율을 보였으며, 안정화 기간의 평균 유출수 농도는 농공단지 폐수종말처리장의 방류수 수질기준인 8mg/L를 만족시키는 것으로 조사되었으며, 2013년 이후의 2mg/L 역시 만족시킴을 알 수 있었다.

Table. 5 Variation of phosphorus concentration due to HRT

Item	48hr			36hr		
	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal (%)	Influent (mg/L)	Effluent (mg/L)	Removal (%)
T-P	26.6	1.1	96.0	24.1	2.0	91.5
PO <sub>4</sub> -P	1.8	0.3	82.1	1.4	1.5	-
BOD/T-P		72.1			82.7	

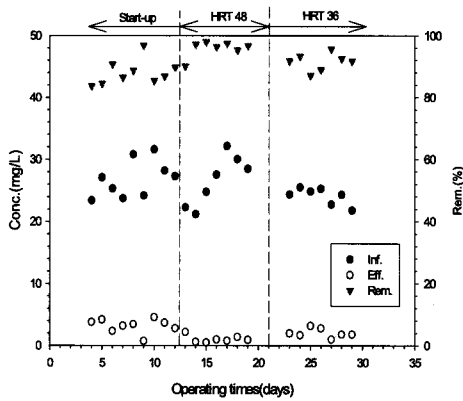


Fig. 11. Variation of T-P concentration during operation time.

#### 4. 고도처리 설계인자

고도처리 공정이 설계시 고려되어야 할 주요 영향인자는 유입폐수의 유기물량, 알칼리도, 수온, pH 등의 수질특성과 중공사막이 침지된 포기조내의 pH, 용존산소 등이 있으며, 이러한 영향인자에 안정적으로 대처할 수 있도록 미생물 체류시간(SRT), 비질산화율(SNR, Specific Nitrification Rate), 비탈질율(SDNR, Specific denitrification Rate)과 같은 설계인자 검토가 필요하다.

특히, 본 연구에 사용된 폐수는 일반 하수가 아닌 수산물물 가공한 후 생성된 폐수이기 때문에 보다 주의해서 검토해야 한다.

본 실험의 결과를 토대로 산정한 설계 SRT는 15.1day서 실험시 운전된 SRT 32.8day와는 많은 차이가 존재하였다. 그러나 본 처리공정은 공정내 미생물의 농도가 약 10,000mg/L로 매우 높게 유지되며, 본 실험대상폐수 역시 수산물 가공시에 발생하는 폐수가 주를 이루고 있기 때문에 공정의 안전성과 다양한 환경적 조건에 대처할 수 있도록 충분한 SRT를 보장해야 할 것으로 판단되며, 약 30day 정도가 바람직한 것으로 판단된다.

중속영양 미생물의 성장률이 자가영양

미생물보다 크기 때문에 유입하수내에 유기물이 많은 경우(BOD/TKN 비가 작을 경우), 미생물내에서 질산화 미생물의 분율은 매우 작아진다. 또한, 질산화미생물의 양은 질산화율에 직접적으로 영향을 미치고, 온도에 민감함으로 온도가 낮을 경우 SRT를 충분히 증가시켜 MLSS 농도를 높게 유지해야 한다.<sup>9)</sup> SNR은 유입 TKN의 부화와 질산화조의 미생물량에 따라 다르며 체류 시간에 영향을 받는다. 한편, 질산화율은 수온에 따라 차이가 발생하는데, 본 공정에서의 SNR값과 수온과의 관계는 Fig. 12와 같으며, 이 값은 호기성조의 유입 및 유출 암모니아 농도를 기준하여 산정된 값이다. Fig. 12에 제시한 바와 같이 수온이 증가함에 따라 SNR은 증가하는 양상을 나타내면 그 값은 0.008~0.020 gN/g MLVSS/d이며, 평균 SNR은 0.014 gN/g MLVSS/d로서, 본 공정에서 구한 비질산화율은 EPA(0.07), Randall(0.04-0.05), Lewis publishers(0.03)등이 제시한 문헌상의 값보다는 다소 작게 산정되었다. 이는 본 공정이 높은 미생물 농도로 운전되어 나타난 결과라 판단된다.

무산소조에 공급되는 탄소원의 종류에 따라 SDNR은 차이가 나는데, 탄소원은 유입하수의 C/N 비에 따라 외부탄소원 또는 내부탄소원으로 구분될 수 있는데 본 실험에서 유입하수의 BOD/TN비는 4.6~8.8의 범위로서 유입하수를 탄소원으로 이용할 경우 보다 경제적인 탈질이 수행될 것으로 판단된다. 파일롯 플랜트와 실제 처리장에서 관찰된 탈질율을 기초로 하여, 전탈질조에서의 SDNR과 BOD 또는 COD F/M 비와의 관련 경험식이 개발된 일반적으로 사용되는 식(EPA, 1993)은 아래와 같으며, 온도는 20~25℃의 범위이다.<sup>9)</sup>

$$SDNR = 0.03(F/M) + 0.029$$

where SDNR : Specific denitrification

rate in the first anoxic zone, g NO<sub>3</sub>--N/g VSS/d.

F/M : F/M loading ratio on the first anoxic zone,

BOD/g Mixed liquor VSS in the first anoxic zone/d.

본 공정에서의 SDNR 값은 무산소조의 F/M비에 따라 Fig. 13에 제시하였다. SDNR의 산정에 사용된 인자를 살펴보면, 무산소조 용적 131.6L, 유량(Q)는 300~400L, MLVSS는 9,658~11,000mg/L, 그

리고 유입BOD는 1,322~2,481mg/L를 이용하였다. Fig. 13에 제시한 바와 같이 무산소조의 F/M 비가 증가함에 따라 SDNR 값이 상승하는 양상은 보이며, 그 값은 0.038~0.051 gN/gMLVSS/d로 나타났다. SDNR 값은 Barnard(1975)는 17-25℃에서 0.086, EPA(1993)에서는 0.04-0.15, Sewage works in Japan(1995)에서는 0.06으로 다양한 값을 제시하고 있는데 이는 처리공정 및 폐수특성에 기인하는 것으로 사료된다.

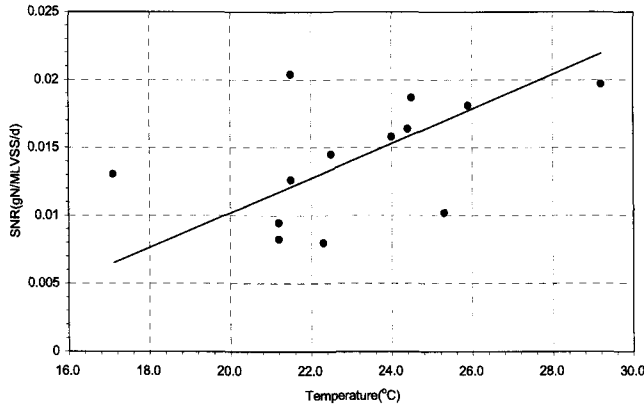


Fig. 12. Variation of SNR during Temperature.

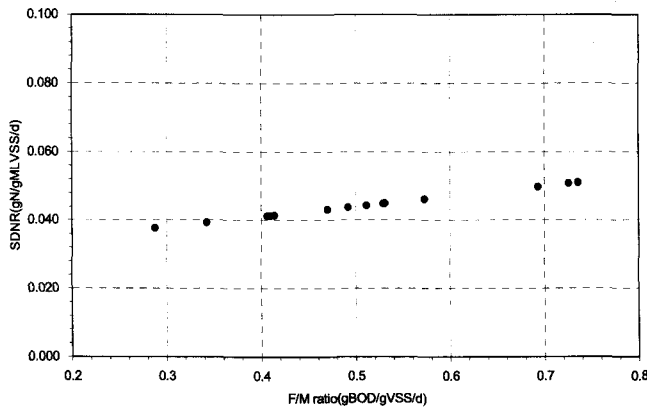


Fig. 13. Variation of SDNR during F/M ratio.

## IV. 결론

고농도의 유기물과 영양염류를 함유한 수산물 가공폐수를 처리하기 위한 준공사막 필터를 적용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 처리공정으로 pH 4.5 이하의 산성폐수가 유입될 경우 반응조내 슬러지가 활동성이 저하되고 슬러지 색깔이 검은색으로 변하면서 처리효율의 저하를 가져왔다. 따라서 유입 폐수의 pH는 항상 6.0 이상을 유지하여야 할 것으로 사료된다.
2. HRT 38hr에서 TBOD와 TCOD의 제거효율은 각 99.9, 99.4%의 높은 제거효율을 나타냈으며 TSS 역시 높은 제거효율을 나타냈다. 유출수내 SBOD/TBOD 비와 SCOD<sub>cr</sub>/TCOD<sub>cr</sub>의 비는 각각 0.84와 0.90으로서 유출수내 유기물의 대부분은 용존성 물질로 구성되었는데 이는 호기성조에 침적된 준공사막이 미세한 부유성 물질까지도 제거한 것에 판단된다.
3. 운전기간동안 유기물 부하는 0.67 ~ 1.67 kgTBOD/m<sup>3</sup>/day로 조사되었으며 이때 TBOD의 제거효율은 99.8 ~ 99.9%로 비교적 높은 유기물 용적부하에도 안정적인 처리수질을 얻을 수 있었다. 또한 운전기간동안의 F/M 비는 0.10 ~ 0.21kgBOD<sub>5</sub>/kgMLSS/day의 범위로 F/M 비가 증가함에 따라 유출수 농도는 점차적으로 증가하였다.
4. HRT 36 ~ 48hr에서 T-N의 제거효율은 89.7 ~ 90.7%로 조사되었으며, T-P의 제거효율은 91.5 ~ 96.0%의 높은 제거효율을 나타내어 본 처리공정은 고농도의 영양염류 제거에 매우 적합한 것으로 조사되었다.
5. 고도처리 설계인자 검토결과, SRT는 처리공정의 안전성과 다양한 환경적 조건에

대처할 수 있도록 약 30일 정도가 바람직한 것으로 판단된다. SNR은 수온이 증가함에 따라 증가하는 양상을 나타내면 그 범위는 0.008 ~ 0.020 gN/g MLVSS/d이며, 평균 SNR은 0.014 gN/g MLVSS/d로 산정되었다. SDNR 값은 무산소조의 F/M 비가 증가함에 따라 상승하였으며, 그 범위는 0.038 ~ 0.051 gN/gMLVSS/d로 조사되었다.

## 참고문헌

1. 송재철, 박현정,., 최식 식품가공·저장학, 효일문화사, 1998
2. 기분봉, 김낙주, 이시진,., 산업폐수처리, 동화기술, 1998
3. Olivier Lefebvre, Rene Moletta, Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: a literature review, Water Research, 40(2006) 3671-3682
4. 임재명, 이상호외 6인, 산업폐수처리공학, 동화기술, 2001
5. 강원대학교 산업기술 연구소, "원주하수처리장 고도처리시설 공사를 위한 기존시설 운영진단 보고서", 2003
6. AWWA, WEF and APHA, Standard Method, 2003
7. 최규철외, 수질오염공정시험방법주해, 동화기술, 2003
8. Ekama, G. A., and Marais, G. V. R., Theory, Design, and Operation of Nutrient Removal Activated Sludge Processes, Water Research Commission, Pretoria, South Africa. 1983
9. Metcalf & Eddy, Wastewater engineering treatment and reuse, 4rd edition, McGraw-Hill, 2004