

Entrapped Mixed Microbial Cell (EMMC) 공정을 이용한 수산물 가공 폐수처리에서 유기물 및 질소 동시제거

정병철 · 박권삼* · 정병곤**†

(주)진주햄

*군산대학교 식품생명공학과

**군산대학교 환경공학과

Simultaneous Removal of Organic and Nitrogen in the Treatment of Fish Processing Wastewater using Entrapped Mixed Microbial Cell (EMMC) Process

Byung Cheol Jeong · Kwon Sam Park* · Byung Gon Jeong**†

Jinjuham Co., Ltd.

*Department of Food & Biotechnology, Kunsan National University

**Department of Environmental Eng., Kunsan National University

(Received 24 November 2005, Accepted 29 March 2006)

Abstract

Feasibility of simultaneous removal of organic materials and nitrogen in the wastewater from fisheries processing plant was evaluated using entrapped mixed microbial cell (EMMC) process. The experiment was performed using activated sludge from municipal sewage treatment plant which was immobilized with gel matrix by cellulose triacetate. It was found the stable operation at the treatment system which is composed of anoxic and oxic tank, was possible when the organic and nitrogen loading rates were increased stepwise. The organic and nitrogen loading rates were conducted from 0.65 to 1.72 kgCOD/m³/d and from 0.119 to 0.317 kg T-N/m³/d with four steps, respectively. The maximum nitrogen loading rate which could satisfy the regulated effluent standard of nitrogen concentration, was 0.3 kg T-N/m³/d. The removal efficiency of total nitrogen was decreased apparently as increasing nitrogen loading rates, whereas the removal efficiency of ammonium nitrogen was effective at the all tested nitrogen loading rates. Therefore, it was concluded that nitrification was efficient at the system. Nitrate was removed efficiently at the anoxic tank, whereas the nitrification efficiency at the oxic tank ranged 94.0% to 96.9% at the tested loading rates. The removal efficiencies of chemical oxygen demand (COD) and those of total nitrogen at the entire system ranged from 94.2% to 96.6% and 73.4% to 83.4%, respectively.

keywords : COD, Entrapped Mixed Microbial Cell (EMMC) process, Fish processing wastewater, T-N

1. 서론

수산물 가공공장에서 배출되는 폐수는 대부분 활성슬러지법에 의하여 처리되고 있는 것으로 보고되고 있다(백 등, 1994). 그러나 활성슬러지법은 질소 및 인의 제거효율이 낮고 부하변동시 슬러지 침강성이 악화되어 오염물질의 제거효율이 낮아지며(김 등, 1985) 고도의 운전기술과 숙련된 운전인력이 필요할 뿐만 아니라 넓은 부지가 소요되고 동절기에는 반응조의 온도저하로 미생물의 활성이 크게 떨어져 전체적인 처리효율이 저하될 우려가 크다. 또한 수산물 가공공장은 대부분 영세한 규모로 폐수처리를 위한 전문 기술 인력의 부족 및 운전미숙 등으로 인하여 발생하는 여러 가지 문제점 등으로 정상적인 운영을 하지 못하고 있는

곳이 많은 것으로 보고되고 있다(Balslev et al., 1990; Nair, 1990). 이러한 운전상의 문제점 외에도 간헐적 운전에 따라 폐수의 발생 및 배출이 간헐적으로 일어나기 때문에 생물학적 처리가 구조적으로 힘들 수 있다. 따라서 수산물 가공공장 폐수처리의 경우 이러한 발생폐수의 특성에 부합하면서도 질소와 인과 같은 영양염류의 제거가 가능한 새로운 형태의 처리공법이 필요하다.

이러한 방법 중의 하나는 박테리아를 gel내에 강제적으로 고정시켜 처리하는 방법이다. 포괄고정화 방식이라 불리는 이 방법은 미생물을 gel matrix 내에 포획시켜 이용하는 방법으로 폐수처리분야에의 적용은 비교적 새로운 개념이기는 하나 의약품, 식품산업 등에 광범위하게 적용되는 방법이다. 미생물을 포획시키는데 사용되는 gel matrix로는 alginate나 carrageenan 같은 천연 gel 물질이 주로 사용되었으나 폭기가 일어나고 있는 폐수처리 반응조내에 적용하기에는 기계적 강도가 약하며 gel 자체가 생분해 가능물질이기 때문에

† To whom correspondence should be addressed.

bjeong@kunsan.ac.kr

gel 수명 자체가 문제가 되어 그 적용에 제한을 받아왔다. 그러나 최근에 들어 PVA(Hashimoto et al., 1987), PEG (Sumino et al., 1992), Cellulose triacetate(Yang et al., 1988) 같은 인조 합성 gel을 사용하여 폐수처리에 성공적으로 적용시킨 예가 보고 되고 있으며 이러한 인조합성 gel 물질의 사용은 더욱 폭넓게 적용될 것으로 판단된다.

본 연구에서는 현재까지 사용된 gel 물질 중 가장 기계적 강도가 높은 것으로 보고 된(Yang et al., 1997) cellulose triacetate를 gel matrix로 사용하여 수산물 가공공장에서 발생하는 폐수의 처리장치로의 적용 가능성을 평가하기 위하여 처리도 실험을 실시하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 미생물 순치 및 고정화

도시하수 처리장내 활성 슬러지 공정의 최종침전지로부터 가져온 활성 슬러지를 cellulose triacetate를 고정화 담체로 이용하여 Yang 등(1991)에 의하여 제안된 방법을 사용하여 entrapping시켰다. 즉, Fig. 1에 나타내어 놓은 바와 같이 원심분리 시킨 미생물세포를 methylene chloride에 용해시킨 cellulose triacetate에 가한 후 이를 다시 혼합시켜 틀에 집어넣은 다음 하루 동안 toluene 용액에 침지하여 경화시켰다. 경화된 gel matrix는 가로 10 mm, 세로 10 mm, 두께 10 mm로 잘라서 수돗물로 씻은 후 반응조에 투입시켜 사용하였다. 원심분리후 활성슬러지의 함수율은 89% 이었으며 TS 농도는 67.76 g/kg, VS함량은 59.46 g/kg이었다.

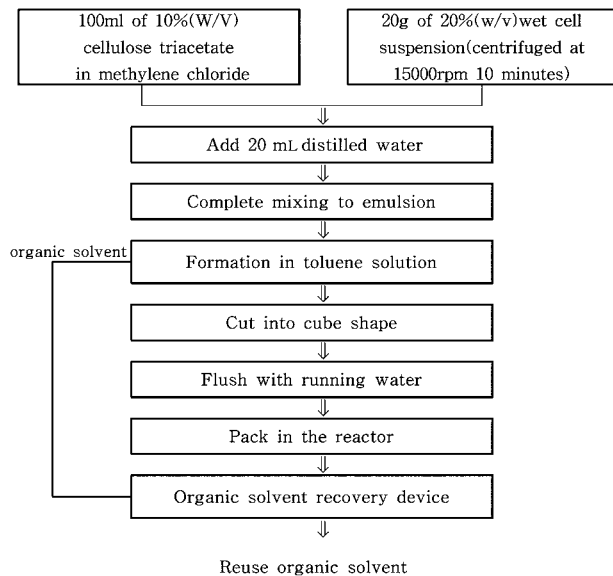


Fig. 1. Entrapped mixed microbial cell techniques.

2.2. 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 2와 같이 anoxic조 1조와 oxic조 3조로 구성되어 있으며 장치 전단에 저류조를 후단에는 침전조를 두었다. 반응조의 규격은 모두 각각 가로 150 mm×세로 150 mm×높이 300 mm이며 아크릴을

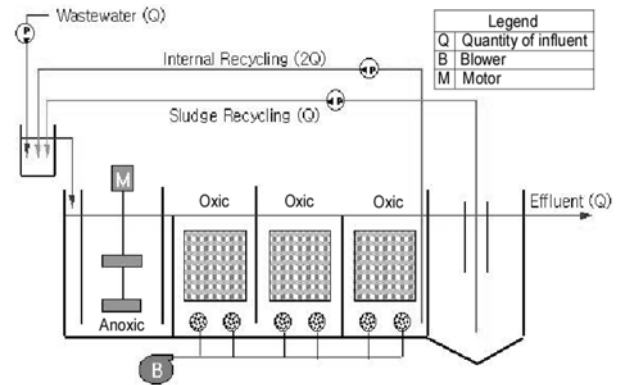


Fig. 2. Schematic diagram of experimental unit.

사용하여 제작하였고 운전시 유효높이는 250 mm로 유지하였다. 따라서 유효용량 기준으로 보면 anoxic조 용량은 5.625 L, oxic조 총 용량은 16.875 L이다. Anoxic조는 유입수내의 질소 및 유기물을 제거하기 위하여 부유성장 미생물을 이용하였으며 혼합을 위하여 교반장치를 반응조내에 설치하였다. Oxic조에는 활성슬러지를 entrapping시킨 gel matrix를 2.55 L씩 충전 시켰으며 gel matrix의 wash out을 방지하기 위하여 반응조내에 SUS망을 설치하였다.

Anoxic조 미생물 농도는 약 5,000 mg VS/L이었고 oxic조는 각 조당 5,610 mg VS/L이었다. Oxic조내 산소공급은 diffuser를 이용하여 DO농도 2 mg/L 이상이 유지되게 하였다. 반응조 운전은 온도변화에 따른 영향을 배제하기 위하여 20°C로 유지되는 항온실내에서 실시하였다.

2.3. 운전 및 분석방법

실험에 사용할 폐수는 어묵 및 수산물 가공식품을 제조하는 공장에서 배출되는 폐수로 전 처리로 화학적 응집침전 처리공정을 거친 폐수이다. 전처리 후의 폐수성상은 Table 1에 나타내어 놓았다. 공장에서 가져온 폐수는 5 L 용량의 저류조에 넣고 미량 유량 조절펌프(Watson Marlow 505S)를 이용하여 주어진 HRT에 맞게 유입시켰다. 탈질을 유도하기 위하여 질산화조 유출수를 혐기성조로 반송시켰으며 약 5L 용량의 침전조에 침전된 슬러지 역시 혐기조로 반송시켜 혐기와 호기조건에 교대로 노출될 수 있게 유도하였다. 유기물 및 질소부하 증가에 따른 반응조 운전 특성을 평가하기 위하여 Fig. 2에 나타내어 놓은 바와 같이 유출수 내부반송은 2Q로 슬러지 내부반송은 Q로 고정된 채 4단계로 유입부하를 증가시키면서 실험하였다.

각 단계별로 실험기간은 약 1개월 정도로 총 104일간 연속적으로 반응조를 운전하였다. 실험단계별 전체 시스템에 대한 운전조건은 Table 2와 같다. 유출수의 화학적 인자에 대한 분석방법은 수질오염공정시험법(2004)과 Standard Methods(APHA, 1998)를 기준으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 유기물 및 질소부하 변동에 따른 운전특성

수산물 가공공장 폐수의 생물학적 처리를 위하여 EMMC

Table 1. Characteristics of the wastewaters for the experiment

Item	Range of concentration
pH	7.45~8.11
COD _{Mn}	1,080~1,560 mg/L
BOD ₅	1,195~1,680 mg/L
TSS	14~29 mg/L
VSS	8~18 mg/L
T-N	206~263 mg/L
NH ₄ ⁺ -N	181~231 mg/L
NO ₂ ⁻ -N	4.15~6.82 mg/L
NO ₃ ⁻ -N	14.42~18.41 mg/L
T-P	1.03~1.32 mg/L
PO ₄ ³⁻ -P	0.35~1.08 mg/L
Cl-	3,500~5,500 mg/L

Table 2. Operating conditions of experiment

	Exp.I	Exp.II	Exp.III	Exp.IV
Q(L/d)	11.12	15.19	22.24	30.08
HRT(hrs)	48.58	35.56	24.29	17.96
Volumetric COD Loading rate(kg/m ³ /d)	0.65	0.90	1.28	1.75
Volumetric T-N Loading rate(kg/m ³ /d)	0.119	0.160	0.230	0.317

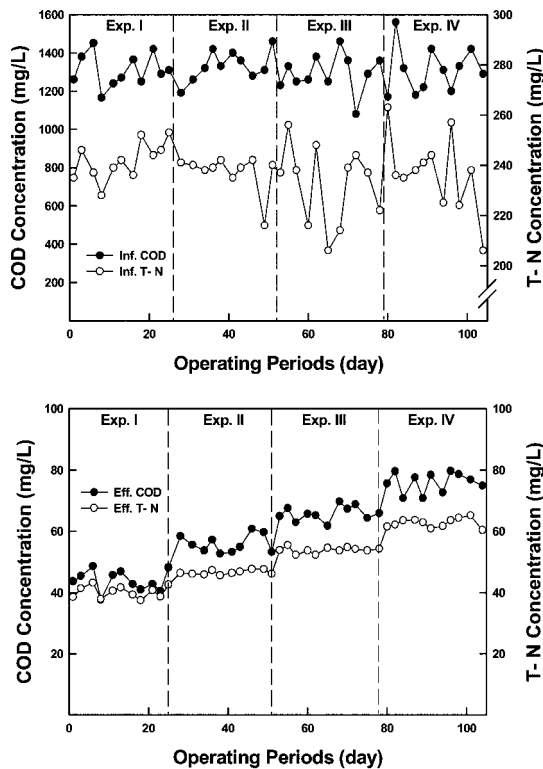


Fig. 3. Variation of COD & T-N concentrations of influent & effluent during operation periods.

공정을 적용하여 유기물 및 질소의 동시제거 가능성을 평가하였다. 유기물 및 총질소 부하변화에 따른 제거특성을 평가하기 위하여 Fig. 3에 나타내어 놓은 바와 같이 COD 및 T-N농도를 각각 평균 1,321 및 237 mg/L로 유지한 채

유입유량을 11.12 L/d에서 30.08 L/d까지 4단계로 증가시키면서 실험을 수행하였다.

이렇게 하여 시스템에 가해지는 적용부하는 COD의 경우 Table 2에 나타나 있는 바와 같이 0.65~1.75 kgCOD/m³·d의 범위에서 각 단계별로 증가시키면서 적용하였고 T-N의 경우에는 0.119~0.317 kg T-N/m³·d의 범위에서 단계별로 증가시키면서 적용하였다. 부하율이 증가함에 따라 유출수 중의 COD 및 T-N농도는 다소 증가하는 경향을 나타내었으나 Fig. 3에서 보듯이 비교적 안정된 경향을 나타내었다. 유출수 pH는 각 단계별 부하증가에 관계없이 7.48~8.29 범위를 나타내었으며 특히 초기 start-up에 거의 시간이 소요되지 않았고 급작스런 부하증가에도 안정된 처리효율을 나타내었다.

즉, COD의 경우 유입 용적부하량의 증가에 따라 각 단계별로 유출수 COD농도 평균치는 각각 43.9, 55.9, 65.8, 75.9 mg/L로 나타나 유입수 적용 부하량이 2.7배 정도 증가하였음에도 유출수 농도는 1.7배 정도 증가하는데 그쳐 유입수 부하증가에 따른 영향을 덜 받는 것으로 평가되었다. T-N의 경우도 COD와 유사하게 유입수 적용부하량을 1 단계에서 4단계로 약 2.7배 정도 증가시켜 적용하였으나 유출수 T-N농도 증가는 각 단계별로 평균 40.2, 46.6, 53.9, 62.7 mg/L로 나타나 농도증가는 1.6배 정도에 그쳐 비교적 안정된 운전효율을 나타내는 것으로 평가되었다.

용적부하율의 증가에도 불구하고 시스템이 전체적으로 안정된 상태에서 운전되는 것은 제거율과 부하율 사이의 관계에서도 확인할 수 있었다. COD, NH₄⁺-N, T-N에 대한 제거율과 부하율 사이의 관계에 대한 상관관계를 조사하여 본 결과 아래 식에서 보는 바와 같이 양호한 직선관계를 나타내었고 이는 시스템이 높은 용적부하율하에서도 안정적인 운전이 가능하다는 것을 나타낸다(Wang et al., 2005).

$$R_{COD} = 0.93 F_{COD} + 0.02 \quad (1)$$

$$R_2 = 0.9997$$

$$R_{NH4+-N} = 0.97 F_{NH4+-N} + 0.002 \quad (2)$$

$$R_2 = 1$$

$$R_{T-N} = 0.685 F_{T-N} + 0.02 \quad (3)$$

$$R_2 = 0.99$$

생물학적 반응기를 이용하여 수산물 가공폐수를 처리한 다른 연구들을 보면 백 등(1994)의 경우 연속회분식 반응기를 이용하여 약 12시간의 HRT에서 처리한 결과 COD 제거율 약 95%, 총질소 제거율 67%를 얻었다고 보고하고 있다. 또한 윤 등(2001)은 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 이용하여 인조합성 수산물 가공폐수처리시 12시간의 HRT에서 약 95%의 COD제거율과 47~58%의 총질소 제거효율을 나타내었다고 보고하고 있다. 본 연구에서 각 단계별로 HRT는 약 48시간에서 18시간으로 줄여가며 실험하였고 그에 따라 COD는 96.6%에서 94.2%의 제거효율을 총질소의 경우 83.4~73.4%의 제거효율 변화를 나타내어 다른 연

구와 유사하거나 좀 더 나은 제거효율을 나타내어 유기물 및 총질소 제거효율 측면에서 EMMC공정이 타 공정에 비하여 경쟁력이 있음을 알 수 있다. 또한 EMMC공정이 유기물과 질소의 동시제거 공정으로서 다른 생물학적 처리공정과 건설비 및 운영비 측면에서 비교하였을 때 경제적 우월성이 있다는 Yang 등(1997)의 보고를 근거할 때 수산식품공장에서 배출되는 폐수의 처리공정으로서 기존 생물학적 공정에 대한 매력적인 대안으로 적용 가능성을 보여주고 있다.

한편, 폐수내 염분농도는 Table 1에 나타나 있는 바와 같이 3.5~5.5 g/L 정도로 나타났다. 이러한 염분농도는 염분농도 5 g/L 이하에서는 유기물 제거에 영향을 주지 않았으며 30 g/L까지 증가시켜도 질산화 및 탈질에는 영향이 없었다는 백 등(1994)의 연구결과나 염분농도 2%까지는 유기물 및 질소제거효율에 별 영향이 없었다는 김 등(2005)의 연구결과 등에 기초할 때 염분농도에 따른 유기물 및 질소 제거 효율에 악영향을 미치지 않는 것으로 판단된다.

유입수와 유출수내 총질소 및 암모니아성, 아질산성, 질산성 질소의 농도변화는 Fig. 4에 도시하여 놓은 바와 같다. 그림에서 보듯이 T-N의 경우 적용 부하량의 증가에 따라 유출수 농도는 비례적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 각 단계별 유출수 T-N농도를 기준으로 볼 때 T-N부하 0.23 kgT-N/m³·d가 적용된 3단계까지는 공장폐수의 유출수 총질소 농도 규제치인 60 mg/L 이하를 유지하였으나 0.317 kgT-N/m³·d의 용적부하가 적용된 4단계 실험에서는 유출수 T-N농도 평균치가 62.7 mg/L를 나타내어 법적 규제치를 초과하는 것으로 나타나 본 실험에 사용된 수산물 가공 공장 폐수를 대상으로 포괄 고정화공정을 적용시 T-N의 경우 한계 적용 용적부하는 약 0.3 kgT-N/m³·d인 것으로 나타났다.

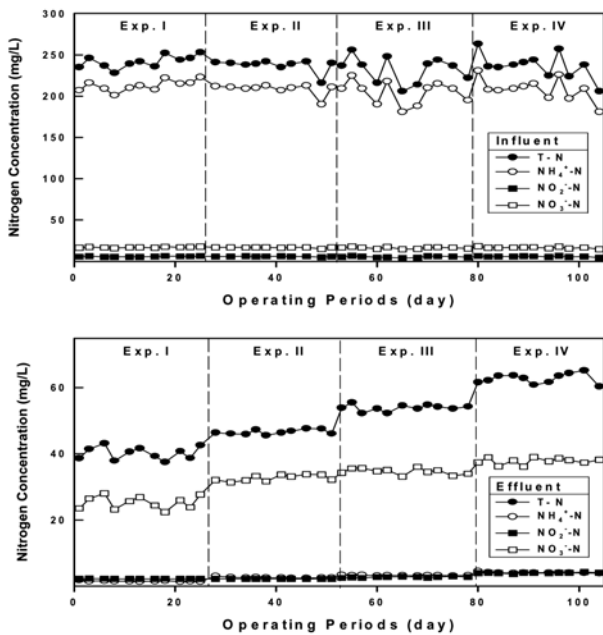


Fig. 4. Variations of influent and effluent nitrogen concentrations during operating periods.

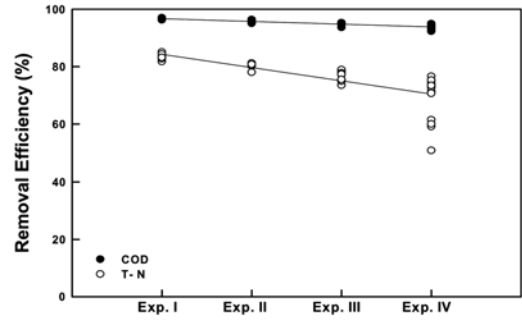


Fig. 5. Removal efficiencies of COD and T-N.

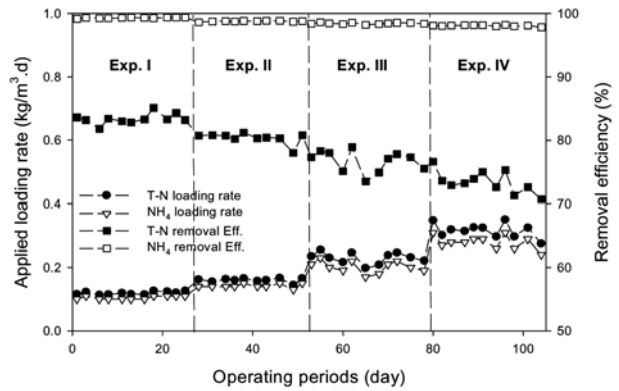


Fig. 6. Variation of nitrogen removal efficiencies according to applied loading rate.

제거효율 측면에서는 각 단계별로 적용 용적부하율을 증가시키면서 이에 따른 제거효율 변화를 나타낸 Fig. 5를 보면 COD의 경우에는 부하를 증가에 따른 제거효율 감소정도가 상당히 완만하여 본 연구에서 적용된 COD 용적부하율인 0.65~1.75 kg COD/m³·d 범위에서는 용적부하율에 관계없이 안정된 유기물제거가 가능하였다는 것을 알 수 있었으나 T-N의 경우는 COD보다는 부하를 증가에 따른 효율저하 현상이 좀 더 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었다.

질소의 유입 부하율 변화에 따른 제거효율 변화를 살펴본 Fig. 6을 보면 T-N의 경우는 부하를 증가에 따른 제거효율 저하가 뚜렷하였으나 NH₄⁺-N의 경우는 각 단계별로 부하율을 증가시키면서 실험해본 결과 부하를 증가에도 불구하고 제거효율 변화는 완만하여 본 실험에 적용한 시스템의 경우 질산화 반응은 부하변동에 관계없이 효율적으로 이루어지는 것으로 평가되었다.

운전 기간 중 anoxic조 유출수의 COD 및 질소농도 변화를 나타낸 Fig. 7을 보면 실험이 1단계에서 4단계로 진행되면서 유입수 용적부하가 COD의 경우 1단계 평균 0.65 kgCOD/m³·d에서 0.90, 1.28, 1.75 kgCOD/m³·d로 증가됨에 따라 anoxic조 유출수의 COD 농도는 각 단계별로 262, 289, 298, 309 mg/L로 나타나 유입수 부하량이 약 2배정도 증가함에도 유출수 농도는 약 1.2배 정도 증가하여 유입수 부하변동에도 비교적 안정적인 처리효율을 나타내는 것으로 평가되었다.

Anoxic조의 COD 제거효율은 Fig. 8에 나타나 있는 바와 같이 각 실험단계별로 27.3~19.9%의 분포를 나타내었다.

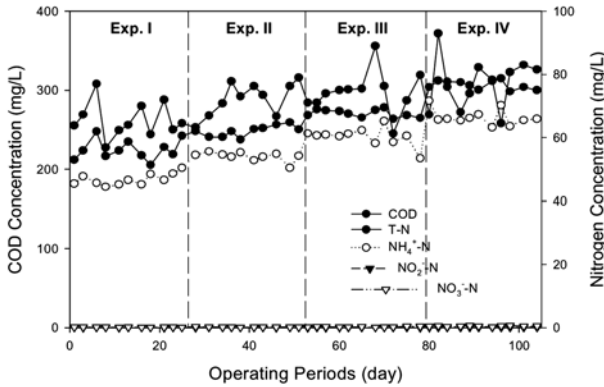


Fig. 7. Variations of COD and Nitrogen concentrations in anoxic effluent during operating periods.

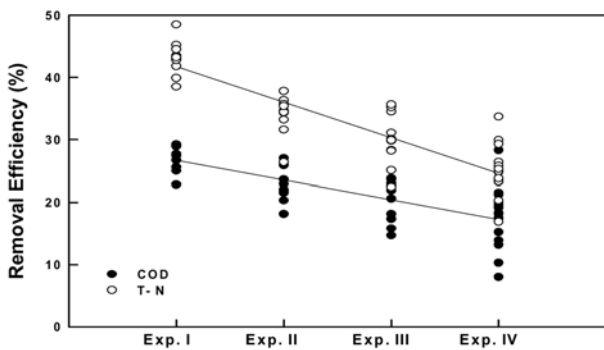


Fig. 8. Removal efficiencies of COD & T-N in anoxic reactor according to experimental stage.

Anoxic조 유출수의 질소농도를 T-N, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_2^-\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 별로 나타낸 Fig. 7을 보면 질소 역시 유입수의 T-N 용적 부하량이 각 단계별로 평균 0.119, 0.160, 0.230, 0.317 $\text{kgT-N/m}^3 \cdot \text{d}$ 로 증가함에 따라 anoxic조 유출수의 T-N농도는 56.1, 62.1, 67.6, 76.6 mg/L로 나타나 유입 부하량이 약 2.67배 증가함에 따라 유출수 T-N농도는 약 1.37배 증가하는 것으로 나타나 질소제거 측면에서도 anoxic조가 안정된 운전효율을 나타내는 것으로 평가되었다. 실험단계별 anoxic조의 T-N 평균 제거효율은 Fig. 8에 제시된바와 같이 1단계의 경우 38.0%, 2단계의 경우 34.1%, 3단계의 경우 31.3%, 4단계의 경우 27.8%를 나타내었다. 같은 기간 중 anoxic조의 질산성 질소 제거율은 각 단계별로 평균 99.5~98.6%로 나타났다.

한편, 질소의 생물학적 제거방법인 질산화-탈질공정에서 중요한 환경인자중의 하나가 COD/N비인데 이러한 탈질에 요구되는 이론적인 COD/N비는 질산성질소의 경우($\text{NO}_3^-\text{-N} \rightarrow \text{N}_2$) 2.86 g COD/g N, 아질산성 질소의 경우($\text{NO}_2^-\text{-N} \rightarrow \text{N}_2$)는 1.71 g COD/g N으로 보고되고 있다(USEPA, 1993). 그러나 실제 폐수를 사용하는 경우 요구되는 유기물 양은 이론치 보다는 상당히 높을 것으로 예상된다. 본 실험에서 COD/N비는 반응수내의 질산성질소 농도를 고려할 때 anoxic조의 COD/N비는 약 3.84로 나타났으며 1~4단계 각각에 있어서 COD/ $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 비는 15.5~11.8로 나타나 탈질을 위한 탄소의 양은 탈질작용에 저해를 줄 정도로는 아닌 것으로 판단된다.

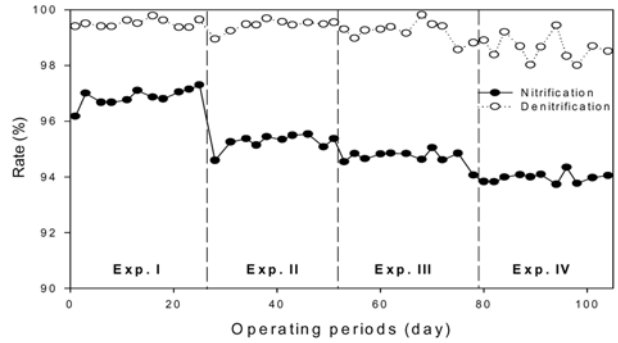


Fig. 9. Comparison between nitrification efficiencies of oxic stage and denitrification efficiencies of anoxic stage.

Anoxic조의 탈질효율과 oxic조의 질산화 효율은 Fig. 9에 나타나어 놓았다. Anoxic조의 탈질효율은 1단계의 경우 평균 99.5%를 나타내었으며 부하증가에 따라 효율은 감소하는 경향을 나타내었으나 그 정도는 미미하여 4단계의 경우 평균 98.6%의 효율을 나타내었다. Oxic조의 질산화 효율은 1단계의 경우 96.9%를 나타내었으며 역시 부하증가에 따라 약간의 효율감소를 가져와 4단계의 경우 평균 94.0%를 나타내어 부하증가에 따른 영향이 탈질보다 크게 나타남을 알 수 있었다.

호기성 공정에 EMMC 공정을 적용시킨 실험실규모 반응조 운전을 통하여 수산식품공장 폐수의 유기물 및 질소 동시제거 실험을 하여본 결과 운전의 안정성, 공정의 효율 측면에서 일반적인 생물학적 처리공정에 대한 매력적인 대안으로 적용 가능하다고 판단되었다.

4. 결론

수산물 가공공장 폐수의 생물학적 처리를 위하여 미생물 강제포획방식인 EMMC공정을 적용하여 유기물 및 질소의 동시제거 가능성을 평가하였다. 처리도 실험은 도시하수처리장에서 가져온 활성슬러지를 cellulose triacetate를 이용한 gel matrix에 고정시켜 실험을 수행하였다. Anoxic조와 oxic조로 구성된 시스템에 유기물 및 질소부하율을 증가시켜가며 실험한 결과 비교적 안정된 형태의 운전이 가능하였다. 적용 유기물부하는 0.65~1.72 $\text{kgCOD/m}^3 \cdot \text{d}$, 총질소 부하는 0.119~0.317 $\text{kgT-N/m}^3 \cdot \text{d}$ 의 범위에서 4단계로 나누어 적용시켰다. 본 연구에 사용한 수산물 가공공장폐수의 경우 공장폐수의 유출수 총질소 농도 규제치인 60 mg/L 이하를 기준으로 할 때 T-N의 경우 한계 적용용적부하는 약 0.3 $\text{kgT-N/m}^3 \cdot \text{d}$ 인 것으로 나타났다. T-N의 경우는 부하율 증가에 따른 제거효율 저하가 뚜렷하였으나 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 경우는 각 단계별로 부하율을 증가시키면서 실험해본 결과 부하율 증가에도 불구하고 제거효율 변화는 완만하여 본 실험에 적용한 시스템의 경우 질산화 반응은 부하변동에 관계없이 효율적으로 이루어지는 것으로 평가되었다. 실험 기간 중 anoxic조의 질산성 질소 제거율은 부하량에 따라 다소 차이가 나기는 하나 98.6% 이상의 높은 제거효율을 나타내었으며 oxic조의 질산화 제거율은 94.0~96.9%로 나

타났다. 시스템 전체로는 적용 용적부하율하에서 COD의 경우 94.2~96.6%, 총질소의 경우 73.4~83.4%의 제거효율을 나타내었다. 이는 수산물 가공 폐수를 이용하여 생물학적처리를 실시한 다른 연구들과 유사한 결과로 수산물 가공공장 폐수의 유기물 및 질소 동시제거에 있어서 EMMC 공정이 기존 생물학적 처리 공정에 대한 매력적인 대안이 될 수 있음을 시사한다.

사 사

이 논문은 군산대학교 수산과학연구소 학술연구비 지원에 의하여 연구되었습니다. 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- 김성주, 박흥석, SBR공정에서 염분함유폐수의 유기물 및 질소처리 연구, *한국폐기물학회 2005년도 추계학술연구 발표회 논문집*, pp. 343-347 (2005).
- 김영석, 박철휘, 박태주, 수산물 가공폐수의 생물학적 처리, *대한환경공학회지*, **7**(2), pp. 59-66 (1985).
- 백병천, 신항식, 연속회분식 반응기를 이용한 수산물 가공 폐수 처리, *대한상하수도학회지*, **1**, pp. 18-26 (1994).
- 윤태경, 이강춘, 문병현, 이택순, 구현서, 제올라이트를 첨가한 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 이용한 수산물 가공 폐수 처리, *공업화학*, **12**(4), pp. 410-414 (2001).
- 환경부, 수질오염공정시험법, 환경부고시 제 2004-188호 (2004).
- APHA, AWWA, WPCF., *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 20th Ed. (1998).
- Balslev, O. P., Lynggaard, J. A. and Nickelsen, C., Pilot Scale Experiments on Anaerobic Treatment of Wastewater from a Fish Processing Industry, *Wat. Sci. Tech.*, **22**, pp. 463-474 (1990).
- Hashimoto, S. and Furukawa, K., Immobilization of Activated Sludge by PVA-Boric Acid Method, *Biotech. Bioeng.*, **15**, pp. 52-59 (1987).
- Nair, C., Pollution Control Through Water Conservation and Wastewater reuse in the Fish processing Plant, *Wat. Sci. Tech.*, **22**, pp. 113-121 (1990).
- Sumino, T., Nakamura, H., Mori, N. and Kawaguchi, Y., Immobilization of Nitrifying Bacteria by Polyethylene Glycol Prepolymer, *J. of Fermentation and Bioeng.*, **73**(1), pp. 37-42 (1992).
- U. S. EPA, *Design Manual : Nitrogen Control*, EPA/625/R-93/010 (1993).
- Wang, Y., Huang, X. and Yuan, Q., Nitrogen and Carbon Removals from Food Processing Wastewater by an Anoxic/Aerobic Membrane Bioreactor, *Process Biochemistry*, **40**, pp. 1733-1739 (2005).
- Yang, P. Y., Cai, T. and Wang, M. L., Immobilized Mixed Microbial Cells for Wastewater Treatment, *Biological Wastes*, **23**, pp. 295-312 (1988).
- Yang, P. Y. and See, T. S., Packed Entrapped Mixed Microbial Cell Process for Removal of Phenol and its Compounds, *J. Environ. Sci. Health*, **A26**, pp. 1491-1521 (1991).
- Yang, P. Y., Zhang, Z. Q. and Jeong, B. G., Simultaneous Removal of Carbon and Nitrogen Using an Entrapped Mixed Microbial Cell Process, *Water Research*, **31**, pp. 2617-2625 (1997).