

미생물 강제포획기술을 이용한 수산물 가공공장 폐수처리에서 부하율에 따른 유기물 및 질소의 제거 효율성 평가

정병철^{1,†} · 장수현¹ · 정병곤²

¹군산대학교 식품생명공학과

²군산대학교 환경공학과

Evaluating the Removal Efficiency of Organic Compounds and Nitrogen Depending on Loading Rate in Wastewater Treatment from Fisheries Processing Plant Using an Entrapped Mixed Microbial Cell Technique

Byung Cheol Jeong^{1,†}, Soo Hyun Chang¹ and Byung Gon Jeong²

¹Department of Food Science & Biotechnology, Kunsan National University, Kunsan, 573-701, Korea

²Department of Environmental Engineering, Kunsan National University, Kunsan, 573-701, Korea

요 약

수산물 가공공장 폐수의 생물학적 처리를 위하여 미생물 강제포획방식인 EMMC 공정을 적용하여 유기물 및 질소의 동시제거 가능성을 평가하였다. 처리도 실험은 도시하수처리장에서 가져온 활성슬러지를 cellulose triacetate를 이용한 gel matrix에 고정시켜 실험을 수행하였다. anoxic조와 oxalic조로 구성된 시스템에 유기물 및 질소부하율을 증가시키며 실험한 결과 비교적 안정된 형태의 운전이 가능하였다. 적용 유기물부하는 0.65~1.72 kgCOD/m³·d, 총질소 부하는 0.119~0.317 kgT-N/m³·d의 범위에서 4단계로 나누어 적용시켰다. 본 연구에 사용한 수산물 가공공장폐수의 경우 공장폐수의 유출수 총질소 농도 규제치인 60 mg/l 이하를 기준으로할 때 T-N의 경우 한계 적용용적부하는 약 0.3 kgT-N/m³·d인 것으로 나타났다. T-N의 경우는 부하율 증가에 따른 제거효율 저하가 뚜렷하였으나 NH₄⁺-N의 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 질산화 질소 제거율은 각 단계별로 평균 99.51~98.62%로 나타났다. Oxalic조의 질산화 제거율은 94.0~96.9%로 나타났다. 시스템 전체로는 적용 용적부하율하에서 화학적 산소요구량(COD: Chemical Oxygen Demand)의 경우 94.2%~96.6%, 총질소의 경우 73.4~83.4%의 제거효율을 나타내었다.

Abstract - In this study, the feasibility of simultaneous removal of organic materials and nitrogen in the wastewater from fisheries processing plant was evaluated using entrapped mixed microbial cell technique (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 that the stable operation at the treatment system which is composed of anoxic and oxalic tank, was possible when the organic and nitrogen loading rates were increased stepwise. The organic and nitrogen loading rates were applied from 0.65 to 1.72 kgCOD/m³·d and from 0.119 to 0.317 kgT-N/m³ with four steps, respectively. The maximum nitrogen loading rate which could satisfy the regulated effluent standard of nitrogen concentration, was 0.3 kgT-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 removal efficiency ranged from 98.62% to 99.51%, whereas the nitrification efficiency at

[†]Corresponding author: bjeong@kunsan.ac.kr

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: Entrapped Mixed Microbial Cell Technique(미생물 강제포획 기술), Loading Rate(부하율), Fisheries Processing Plant(수산물 가공공장), Wastewater Treatment(폐수처리), Nitrogen(질소)

1. 서 론

최근 경제발전과 더불어 생활수준의 향상, 생활방식의 변화 등으로 식생활 습관이 간편화되고 이에 따라 다양한 종류의 가공식품들이 생산되고 있으며 그 생산규모도 급격히 증가하고 있다. 그 중에서도 수산물 가공업은 종류가 매우 다양하므로 수산물 제조과정에서 배출되는 오염물질은 가공업의 종류에 따라 그 성상이 달라질 수 있다.

수산물 가공공장은 그 특성상 대개 연안에 위치하는데 발생하는 폐수는 높은 유기물 농도와 질소와 인과 같은 영양염류를 다량 함유하고 있어 적절하게 처리되지 않은 상태에서 연안에 방류되는 경우 해역의 부영양화나 적조발생의 원인이 되므로 효율적인 오염물질의 제거가 필요한 실정이다.

그러나 수산물 가공공장 폐수는 세척시 사용되는 바닷물로 인하여 폐수 내에 다량의 염분이 함유되어있고 사용되는 원료가 계절에 따라 달라 폐수조성의 계절적 변동이 크다. 또한 소규모 공장의 경우 일년 중 특정기간 동안만 운영되는 곳도 있는 등 배출양상이 복잡하여 일정한 조건이 유입수 수질 및 유입량이 전제되어야 원만한 처리를 기대할 수 있는 생물학적 폐수처리의 적용은 어려움이 있다.

실제 수산물 가공공장에서 배출되는 폐수는 대부분 활성슬러지법에 의하여 처리되고 있는 것으로 보고 되고 있다(백과신[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(민 등[1998]). 또한 수산물 가공공장은 대부분 영세한 규모로 폐수처리를 위한 전문 기술 인력의 부족 및 운전미숙 등으로 인하여 발생하는 여러 가지 문제점 등으로 정상적인 운전을 하지 못하고 있는 곳이 많은 것으로 보고 되고 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 gel 내에 강제적으로 고정시켜 처리하는 방법이다. Entrapped Mixed Microbial Cell(EMMC) 공정이라 불리는 이 방법은 폐수처리분야에의 적용은 비교적 새로

운 개념이기는 하나 의약품, 식품산업등에 광범위하게 적용되어져 온 것들로 Yang[1990, 1991]에 의하여 폐수처리 공정으로 개발되었다. 기존 폐수처리공정의 대안으로 EMMC공정은 몇 가지 장점을 가지고 있는데 예를 들면 고액분리의 문제를 해결할 수 있고 생물 반응조의 크기를 줄일 수 있다는 점 등이다(Yang & Wang[1990], Lin & Chen[1993]). 그 외에도 EMMC공정은 반응조내 세포체류 시간을 증가시킬 수 있고 세포를 저해물질이나 공정인자 변동 등으로부터 보호할 수 있으며 원하는 종류의 미생물을 반응조내 유지시킬 수 있고 슬러지 생성량이 적으며 공정운전 중단시 장시간 미생물을 저장 보관 할 수 있고 또 필요한 때 빠른 기간 내에 원래의 활성으로 회복시킬 수 있는 장점 등이 있다. 기존 생물막 반응조에 비해 이러한 EMMC공정이 갖는 독특한 장점은 처리시설의 운전 및 유지보수가 기존 생물막 공정에 비해 비교적 간단하므로(Yang *et al.*[1997], Yang & Jeong[1997]) 특히 수산물 가공공장과 같은 소규모 처리시설에 적합할 것으로 판단된다.

따라서 본 연구에서는 EMMC공정의 수산물 가공공장 발생폐수 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 and See[1991]에 의하여 제안된 방법을 사용하여 포획시켰다. 즉, 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 활성 슬러지의 함수율은 89% 이었으며 TS 농도는 67.76 g/kg, VS함량은 59.46 g/kg이었다.

2.2 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 anoxic 조 1조와 oxic조 3조로 구성되어 있으며 장치 전단에 저류조를 후단에는 침전조를 두었다. 반응조의 규격은 모두 각각 150 W×150 L×300 H이며 아크릴을 사용하여 제작하였으며 운전시 유효높이는 250 H 이었다. 따라서 유효용량 기준으로 보면 anoxic조 용량은

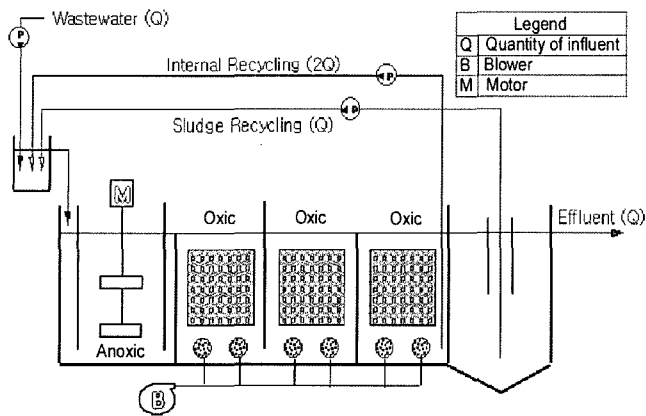


Fig. 1. Schematic diagram of experimental unit.

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 포획시킨 gel matrix를 2.55 L씩 충전 시켰으며 gel matrix의 유실을 방지하기 위하여 반응조내에 4mesh SUS망(100W × 150 L × 170 H)을 설치하였다. anoxic조 미생물 농도는 약 5,000 mg VS/L 이었고 oxic조는 각 5,610 mg VS/L로 총 16,830 mg VS/L 이었다. 반응조 운전은 온도변화에 따른 영향을 배제하기 위하여 20°C로 유지되는 항온실내에서 실시하였다.

2.3 운전 및 분석방법

EMMC공정을 사용하여 수산식품 제조공장에서 배출되는 폐수로부터의 유기물 및 질소 동시제거에 관한 특성 및 운전효율등을 평가하기 위하여 실험실규모 반응조를 이용하여 처리도 실험을 실시하였다. 실험에 사용할 폐수는 부산시내에 소재하는 어묵 및 수산물 가공식품을 제조하는 공장에서 배출되는 폐수로 화학적 응집 침전 처리공정으로 처리한 폐수이다. 공장에서 가져온 폐수는 5 L

용량의 저류조에 넣고 미량 유량 조절펌프(Watson Marlow 505S)를 이용하여 주어진 HRT에 맞게 유입시켰으며 탈질을 유도하기 위하여 질산화조 유출수를 혐기성조로 반송시켰으며 침전조에 침전된 슬러지 역시 혐기조로 반송시켜 혐기와 호기조건에 교대로 노출될 수 있게 유도하였다. 유기물 및 질소부하 증가에 따른 반응조 운전특성을 평가하기 위하여 유출수 내부반송은 2Q로 슬러지 내부반송은 Q로 고정한 채 4단계로 유입부하를 증가시키면서 실험하였다. 각 단계별로 실험기간은 약 1개월 정도로 총 104일간 반응조를 운전하였다. 실험단계별 전체 시스템에 대한 운전조건은 Table 1과 같다. 실험 기간 중 조류나 광합성 박테리아의 성장을 방지하기 위하여 반응조 투명 부분은 알루미늄 호일 등으로 감싸서 운전하였다.

반응조의 운전특성을 평가하기 위하여 실험에 사용된 폐수의 성상은 Table 2에 나타내어 놓았다. 실험이 시작되고 난 후부터 각각의 운전조건에 대한 유출수의 화학적 인자에 대한 분석방법은 Standard Methods(APHA, AWWA, WPCF[1998])를 기준으로 하였다.

3. 결과 및 고찰

수산물 가공공장 폐수의 생물학적 처리를 위하여 미생물 강제 포획방식인 EMMC공정을 적용하여 유기물 및 질소의 동시제거 가능성을 평가하였다. 유기물 및 총질소 부하변화에 따른 제거특성을 평가하기 위하여 Fig. 2에 나타낸 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 1에 나타낸 바와 같이 0.65~1.75 kgCOD/m³d의 범위에서 각 단계별로 증가시키면서 적용하였고 T-N의 경우에는 0.119~0.317 kgT-N/m³d의 범위에서 단계별로 증가시키면서 적용하였다. 부하율이 증가함에 따라 유출수중의 COD 및 T-N농도는 다소 증가하는 경

Table 1. Operating conditions

	Exp.	Exp.	Exp.	Exp.
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

Table 2. Chemical characteristics of experimental stages

	Exp. I	Exp. II	Exp. III	Exp. IV
COD(mg/l)	1,165~1,450(1,309)	1,190~1,460(1,333)	1,080~1,460(1,295)	1,170~1,560(1,311)
T-N(mg/l)	228~253(242)	216~242(237)	206~256(232)	206~263(237)
NH ₄ ⁺ -N(mg/l)	201~223(213)	190~213(209)	181~225(205)	197~231(209)
NO ₂ ⁻ -N(mg/l)	5.24~6.50(5.81)	4.78~6.32(5.84)	4.15~6.78(5.37)	4.21~6.70(5.77)
NO ₃ ²⁻ -N(mg/l)	15.96~17.71(16.91)	15.12~16.94(16.60)	14.42~17.92(16.27)	14.42~18.41(16.59)

(): average value

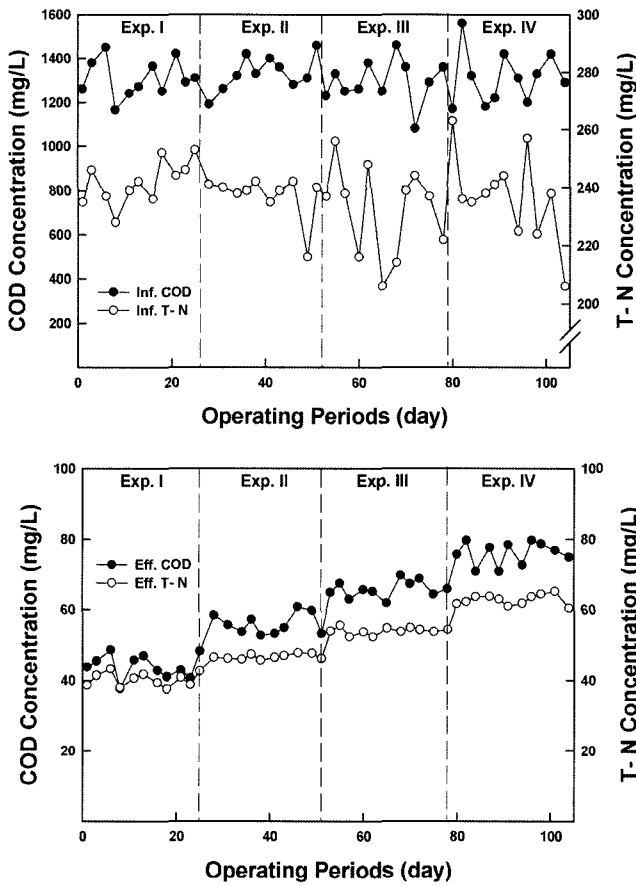


Fig. 2. Variation of COD and T-N concentrations during operation periods.

향을 나타내었으나 Fig. 2에 나타난 바와 같이 비교적 안정된 경향을 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 1.7 배 정도 증가하는데 그쳐 유입수 부하증가에 따른 영향을 덜 받는 것으로 평가되었다. T-N의 경우도 COD와 유사하게 유입수 적용부하량을 I단계에서 IV단계로 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 관계는 아래 식에서 보는바와 같이 양호한 직선관계를 나타내었고 이는 시스템이 높은 용적부하율하에서도 안정적 운전이 가능하다는 것을 나타낸다(Wang *et al.*[2005]).

$$r_{\text{COD}}=0.93 F_{\text{COD}}+0.02, R^2=0.9997 \quad (1)$$

$$r_{\text{NH}_4^+\text{-N}}=0.97 F_{\text{NH}_4^+\text{-N}}+0.002, R^2=1 \quad (2)$$

$$r_{\text{T-N}}=0.685 F_{\text{T-N}}+0.02, R^2=0.99 \quad (3)$$

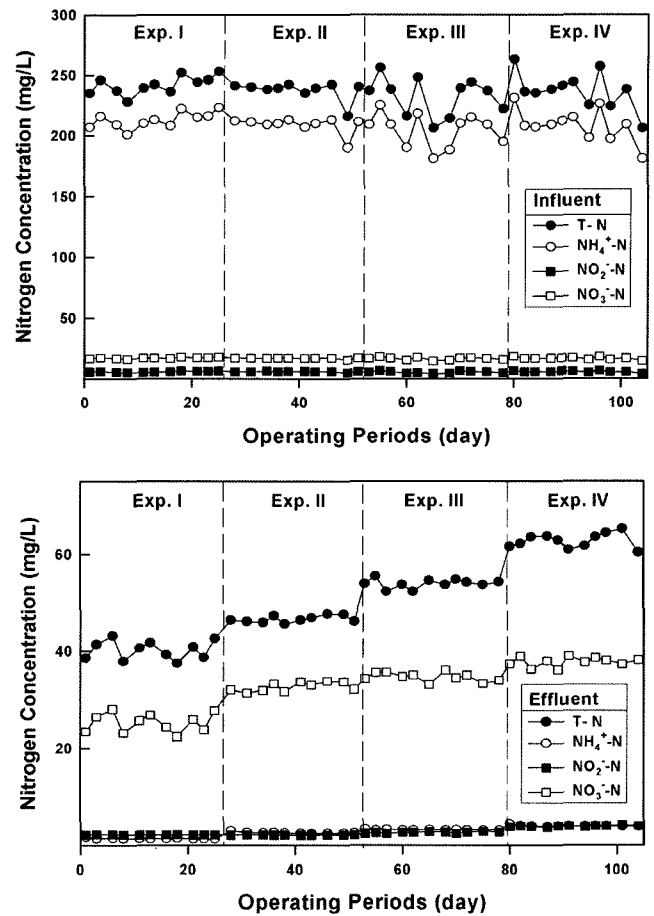


Fig. 3. Variations of influent and effluent nitrogen concentrations during operating periods.

유입수와 유출수내 총질소 및 암모니아성, 아질산성, 질산성 질소의 농도변화는 Fig. 3에 나타난 바와 같다. 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 mgT-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 가공공장 폐수를 대상으로 EMMC 공정을 적용시 T-N의 경우 한계 적용용적부하는 약 0.3 kgT-N/m³·d 인 것으로 나타났다.

제거효율 측면에서는 각 단계별로 적용 용적부하율을 증가시키면서 이에 따른 제거효율 변화를 나타낸 Fig. 4를 보면 COD의 경우에는 부하율 증가에 따른 제거효율 감소정도가 상당히 완만하여 본 연구에서 적용된 COD 용적부하율인 0.65-1.75 kgCOD/m³·d 범위에서는 용적부하율에 관계없이 안정된 유기물제거가 가능하였다는 것을 알 수 있었으나 T-N의 경우는 COD보다는 부하율 증가에 따른 효율저하 현상이 좀 더 뚜렷하게 나타남을 알 수 있었다.

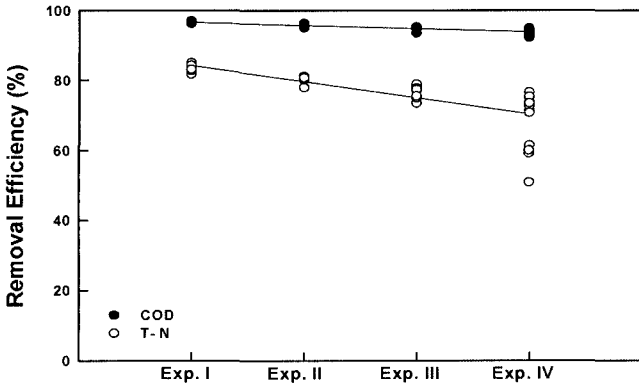


Fig. 4. Removal efficiencies of COD and T-N.

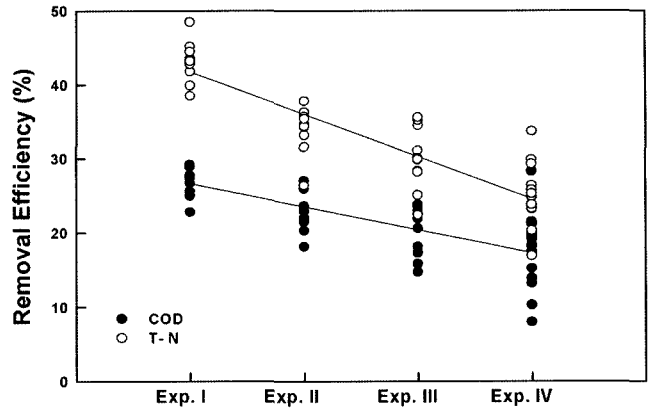


Fig. 7. Removal efficiencies of COD and T-N in anoxic reactor.

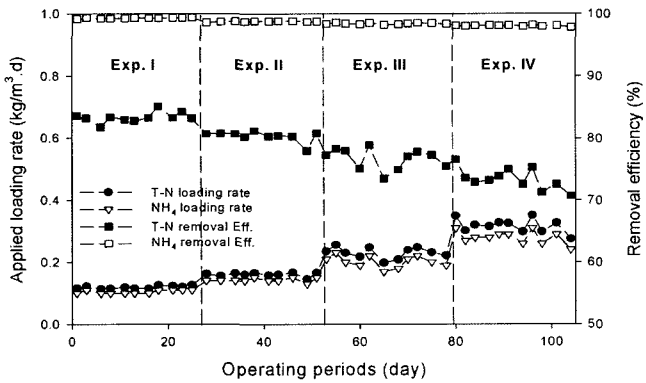


Fig. 5. Variation of nitrogen removal efficiencies according to applied loading rate.

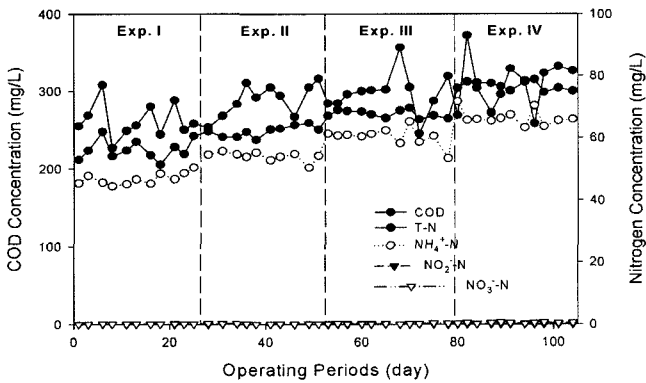


Fig. 6. Variations of COD and Nitrogen concentrations in anoxic effluent.

질소의 유입 부하율 변화에 따른 제거효율 변화를 살펴본 Fig. 5를 보면 T-N의 경우는 부하율 증가에 따른 제거효율 저하가 뚜렷하였으나 NH₄⁺-N의 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.

한편, 운전 기간 중 anoxic조 유출수의 COD 및 질소농도 변화

를 나타낸 Fig. 6을 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.

내부반송을 고려한 anoxic조의 COD 제거효율은 Fig. 7에 나타난 바와 같이 각 실험단계별로 27.3%~19.9%의 분포를 나타내었다. Anoxic조 유출수의 질소농도를 T-N, NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N별로 나타낸 Fig. 6을 보면 질소 역시 유입수의 T-N 용적 부하량이 각 단계별로 평균 0.119, 0.160, 0.230, 0.317 kgT-N/m³·d로 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. 7에 나타난 바와 같이 1단계의 경우 38.0%, 2단계의 경우 34.1%, 3단계의 경우 31.3%, 4단계의 경우 27.8%를 나타내었다. 같은 기간중 anoxic조의 질산성 질소 제거율은 각 단계별로 평균 99.51~98.62%로 나타났다.

한편, 질소의 생물학적 제거방법인 질산화-탈질공정에서 중요한 환경인자중의 하나가 COD/N비인데 이러한 탈질에 요구되는 이론적인 COD/N비는 질산성질소의 경우(NO₃⁻-N→N₂) 2.86 g COD/g N, 아질산성 질소의 경우(NO₂⁻-N→N₂)는 1.71 g COD/g N으로 보고 되고 있다[15]. 본 실험에서 반송수내의 질산성질소 농도를 고려할 때 anoxic조의 COD/N비는 약 3.84로 탈질을 위한 탄소의 양은 충분한 것으로 판단된다.

Anoxic조의 탈질효율과 oxico조의 질산화 효율은 Fig. 8에 나타나어 놓았다. Anoxic조의 탈질효율은 1단계의 경우 평균 99.51%를 나타내었으며 부하증가에 따라 효율은 감소하는 경향을 나타내었으나 그 정도는 미미하여 IV단계의 경우 평균 98.62%의 효율을

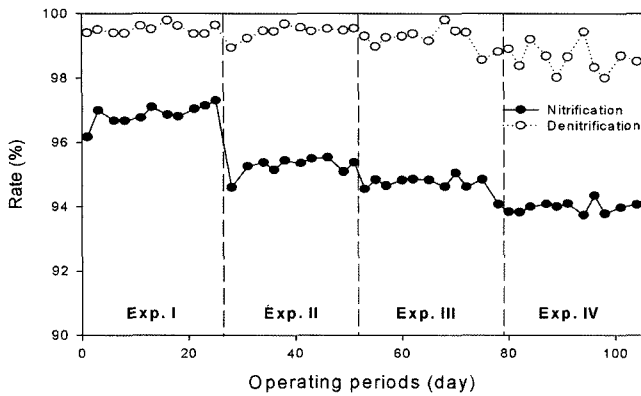


Fig. 8. Nitrification efficiencies of oxalic stage and denitrification efficiencies of anoxic stage.

나타내었다. Oxidic조의 질산화 효율은 I단계의 경우 96.9%를 나타내었으며 역시 부하증가에 따라 약간의 효율감소를 가져와 IV단계의 경우 평균 94.0%를 나타내어 부하증가에 따른 영향이 탈질보다 크게 나타남을 알 수 있었다.

4. 결 론

수산물 가공공장 폐수의 생물학적 처리를 위하여 미생물 강제포획방식인 EMMC공정을 적용하여 유기물 및 질소의 동시제거 가능성을 평가하기 위한 처리도 실험을 수행해본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 본 실험에 사용된 시스템에 유기물 및 질소부하율을 4단계로 증가시켜가며 실험한 결과 적용 부하율을 약 2.7배 정도 증가시켰을 때 유출수 농도증가는 COD의 경우 약 1.7배, T-N의 경우 약 1.6배를 나타내어 본 실험에 사용된 적용 부하율인 0.65~1.75 kgCOD/m³·d와 0.119~0.317 kgT-N/m³·d의 범위에서 COD는 43.9~75.9 mg/l를 T-N은 40.2~62.7 mg/l의 농도분포를 나타내었다.

2. 본 실험에 사용된 시스템에 있어서 COD, NH₄⁺-N, T-N에 대한 제거율과 부하율 사이의 상관관계를 살펴본 결과 대단히 양호한 직선관계를 구할 수 있었고 이를 통하여 본 실험에 적용된 부하 범위에서는 부하율 증가에 관계없이 안정적 운전이 가능하다는 것을 알 수 있었다.

3. T-N 적용부하율을 증가시켜가며 실험해본 결과 0.23 kgT-N/m³·d까지는 공장폐수의 유출수 총질소 농도 규제치인 60 mg/l 이하를 유지하였으나 0.317 kgT-N/m³·d의 용적부하가 적용된 실험에서는 유출수 T-N농도 평균치가 62.7 mg/l를 나타내어 법적 규제치를 초과하는 것으로 나타나 본 실험에 사용된 수산물 가공공장 폐수를 대상으로 본 연구에서 제안된 공정을 적용시 T-N의 경우 한계 적용용적부하는 약 0.3 kgT-N/m³·d인 것으로 나타났다.

4. T-N의 경우는 부하율 증가에 따른 제거효를 저하가 뚜렷하였으나 NH₄⁺-N의 경우는 각 단계별로 부하율을 증가시키면서 실험

해본 결과 부하율 증가에도 불구하고 제거효율 변화는 완만하여 본 실험에 적용한 시스템의 경우 질산화 반응은 부하변동에 관계없이 효율적으로 이루어지는 것으로 평가되었다.

5. Anoxic조의 경우 T-N 용적 부하량이 각 단계별로 평균 0.119, 0.160, 0.230, 0.317 kgT-N/m³·d로 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 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 99.51~98.62%로 나타났다.

감사의 글

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

참고문헌

- [1] 김영석, 박철휘, 박태주, 1985, "수산물 가공폐수의 생물학적 처리", 대한환경공학회지, 7(2), 59-66.
- [2] 백병천, 신형식, 1994, "연속 회분식 반응조를 이용한 수산물 가공폐수 처리", 대한상하수도 학회지, 8(1), 18-26.
- [3] APHA, AWWA, WPCF, 1998, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 20th Ed., American Public Health Association, Washington, D. C.
- [4] Balslev, O. P., Lynggaard, J. A. & Nickelsen, C., 1990, "Pilot scale experiments on anaerobic treatment of wastewater from a fish processing plant", Wat. Sci. Tech., 22(1/2), 463-474.
- [5] Lin, Y-F. and Chen, K-C., 1993, "Denitrification by immobilized sludge with polyvinyl alcohol gels", Wat. Sci. Tech., 28(7), 159-164.
- [6] Nair, C., 1990, "Pollution control through water conservation and wastewater reuse in the fish processing industry", Wat. Sci. Tech., 22(9), 113-121.
- [7] U. S. EPA, 1993, Design Manual ; Nitrogen Control, EPA/625/R-93/010.
- [8] Wang, Y., Huang, X., and Yuan, Q., 2005, "Nitrogen and carbon removals from food processing wastewater by an anoxic/aerobic membrane bioreactor", Process Biochemistry, 40, 1733-1739.
- [9] Yang, P. Y. and Wang, M. L., 1990, Entrapment of Microbial Cells for Wastewater Treatment. In Wastewater Treatment by Immobilized Cell, (Edited by Tyagi, R. D. and K. Uemvu), CRC Press, 45-77.
- [10] Yang, P. Y. and See, T. S., 1991, "Packed entrapped mixed microbial cell process for removal of phenol and its compounds", J.

Environ. Sci. Health, A26(8), 1491-1521.

- [11] Yang, P. Y., Zhang, Z. Q. and Jeong, B. G., 1997, "Simultaneous removal of carbon and nitrogen using an entrapped mixed microbial cell process", *Water Research*, 31(10), 2617-2625.
- [12] Yang, P. Y. and Jeong, B. G., 1997, "Entrapped mixed microbial cell technology for wastewater treatment and reuse/disposal in

Hawaii", *Proceedings of the IAWQ Asia-Pacific Regional Conference, Asian Waterqual' 97*, May 20-23. 739-749.

2005년 10월 12일 원고접수

2006년 2월 1일 수정본 채택