

# 수산물 가공폐수의 호기성 생분해도에 미치는 염분농도의 영향

## Effect of Salt Concentration on the Aerobic Biodegradability of Sea Food Wastewater

최용범 · 권재혁\* · 임재명<sup>†</sup>Yong-Bum Choi · Jae-Hyoun Kwon\* · Jay-Myung Rim<sup>†</sup>

강원대학교 환경공학과, \*강원대학교 환경방재공학과

Department of Environmental Engineering, Kangwon National University

\*Department of Environmental Prevention, Kangwon National University

(2009년 8월 5일 접수, 2010년 2월 24일 채택)

**ABSTRACT** : The study was performed to evaluate the effects of chloride concentrations on the ultimate aerobic biodegradability and to use the result as the fundamental data for sea food wastewater treatment.

When the organic removal efficiency by chloride concentrations (1,400~18,000 mg/L) was evaluated, microbes adapted to the saline at  $\leq 6,000$  mg/L of chloride but treatment efficiency was not improved at  $\geq 12,000$  mg/L of chloride because of delayed reaction time. Functional coefficient  $Y_1$  of non-biodegradable soluble organic and inert material production coefficient  $Y_p$  by microbe metabolism increased as chloride concentrations increased. Soluble organic matter ratio by chloride concentration (0~18,000 mg/L) was 10.8~13.1%, inert material production efficiency by microbes metabolism was evaluated as 7.0~24.6%.  $\text{NH}_3\text{-N}$  removal efficiencies were 96.2, 96.5, 90.2 and 90.3% using original wastewater HRT 18 hr, 6,000 mg/L chloride concentration HRT 22 hr, 12,000 mg/L chloride concentration HRT 30 hr, and 18,000 mg/L chloride concentration HRT 45 hr, respectively. Nitrification process was more sensitive to salt concentration than organic matter removal to salt concentration. Under  $\geq 6,000$  mg/L chloride concentration, conversion rate from  $\text{NO}_3\text{-N}$  to  $\text{NO}_2\text{-N}$  was low.

**Key Words** : Ultimate Aerobic Biodegradability, Sea Food Wastewater, Salt Conc.

**요약** : 본 논문은 염분농도가 호기성 생분해도에 미치는 영향을 파악하고, 그 결과를 수산물 가공 폐수 처리 위한 기초자료로 사용하기 위하여 수행되었다.

$\text{Cl}^-$  농도(1,400~18,000 mg/L)에 따른 유기물 제거효율 검토결과,  $\text{Cl}^-$  6,000 mg/L 이하에서 미생물들은 염분에 적응하였으나  $\text{Cl}^-$  12,000 mg/L 이상에서는 반응시간이 길어져도 처리효율이 개선되지 않는 것으로 조사되었다. 생물학적 분해불가능한 용존성 유기물 함유계수  $Y_1$ 와 미생물 신진대사에 의한 inert 물질 생성계수  $Y_p$ 는 염분농도가 증가할수록 증가하였으며,  $\text{Cl}^-$  농도(0~18,000 mg/L)에 따른 용존성 유기물 비율은 10.8~13.1%로, 미생물 신진대사에 의한 inert 물질 생성비율은 7.0~24.6%로 조사되었다.  $\text{NH}_3\text{-N}$  제거효율은, 원폐수는 HRT 18 hr에서 96.2%의 제거효율을 보였으나,  $\text{Cl}^-$  6,000 mg/L, HRT 22 hr에서 96.5%,  $\text{Cl}^-$  12,000 mg/L, HRT 30 hr에서 90.2%,  $\text{Cl}^-$  18,000 mg/L, HRT 45 hr에서 90.3%의 제거효율을 나타내, 질산화 과정이 유기물 제거 보다 염분농도에 더 민감한 것으로 조사되었으며, 폐수내  $\text{Cl}^-$  6,000 mg/L 이상부터는  $\text{NO}_2\text{-N}$ 에서  $\text{NO}_3\text{-N}$ 로의 전환율도 낮게 조사되었다.

**주제어** : 호기성 생분해도, 수산물가공폐수, 염분농도

## 1. 서론

현재 우리나라 수산물 소비량 추이를 살펴보면, '90부터 '05까지 400만ton 미만, 90년대 후반에는 300만ton을 밑돌기도 하였으나, '06년에는 404만ton을 기록하여 '01년에 비해 23.0%나 증가하였다. 이것은 소득증가와 함께 사회 전반에 걸쳐 “웰빙(well-being)” 열풍이 고조되면서 수산물이 건강식품으로 인식되었기 때문이다. 이에 따라 수산물 가공

업체와 외식업체의 증가가 두드러졌는데 씨푸드(seafood) 레스토랑은 '04년 2개 업체에서 '07에는 총 64개로 30배 이상 증가하였으며, 신규 외식업체 역시 증가하고 있다.<sup>1,2)</sup> 이러한 이유로 수산부분에 대한 전국적 클러스터 조성분위기가 형성되고 있는데, 최등은 중장기적 추진 가능성이 높은 수산업 클러스터를 총 49개 지역으로 구분하고, 동해안 지역(강원도, 경상남·북도)에 19개의 클러스터를 제안하고 있다.<sup>3)</sup>

<sup>†</sup>Corresponding author : E-mail : jmrim@kangwon.ac.kr Tel : 033-250-6352 Fax : 033-254-6357

해양과 인접한 지리적 특성으로 우리나라 수산물 가공업체는 냉동제품을 처리하는 몇몇 업소를 제외하고 대부분 해안가에 소규모 형태로 운영되고 있다. 수산물 가공업체의 폐수발생은 세척수, 해동수, 청소수가 대부분을 차지하며 자숙이나 탈수 공정에서는 폐수 발생량은 적으나 오염도가 매우 높다. 특히 세척수와 탈염 및 염장공정에서 유출되는 염화나트륨(NaCl)은 폐수내 염분농도를 증가시키는 주원인이다.<sup>4)</sup>

폐수내 고농도 염분은 생물학적 처리를 저해시키는 주원인으로, 포기조내 용존산소 결핍으로 부패 및 악취 발생, 호염성 미생물이 우점하여 미생물 상이 단순해지고, 원생동물의 증식이 억제되어 슬러지 침강성이 불량해 진다. 또한 폐수내 포함된 염분은 삼투압 현상으로 미생물 세포벽을 파괴 시킴으로서 용존성 유기물(SCOD)의 농도를 증가시킨다고 보고되고 있다.<sup>5~7)</sup> 이러한 이유로 폐수내 염분을 제거하기 위해 열처리(Thermal techniques), 응집-침전(Coagulation-flocculation), 이온교환(Ion exchange), 막여과 기술(Membrane techniques) 등의 공정이 개발되었으나<sup>5)</sup> 소규모 업체가 대부분인 우리나라 실정에는 적용하기 부적합하다. 현재 수산물 가공폐수의 주처리 공정은 생물학적 처리가 대부분 적용되고 있으나, 효율적인 생물학적 처리를 위해서는 미생물을 염분농도에 순응시키는 과정이 필수적이며,<sup>6)</sup> 안정적인 처리효율을 위해서는 폐수내 염분을 미생물의 저해범위 이하로 유지시키는 것이 중요하다. 따라서 안정적인 유출수를 확보하기 위해서는 염분농도가 생물학적 처리에 미치는 영향을 먼저 파악하고, 이에 대한 대책을 수립하는 것이 우선 과제일 것이다. 본 연구는 호기성 조건하에서 염분농도가 생물학적 반응특성에 미치는 영향을 파악하여, 그 결과를 수산물 가공폐수처리를 위한 기초자료로 사용하고자 수행되었다.

## 2. 실험재료 및 방법

### 2.1. 실험장치

염분농도가 생물학적 처리에 미치는 영향을 파악하고자 Fig. 1과 같이 회분식 반응조를 제작하여 호기성 생분해도를 측정하였다. 반응조는 투명한 아크릴로 유효용적 6.5 L, 두께 0.5 cm, 높이 45 cm, 지름 15 cm로 제작하였다. 본 연구에 사용된 수산물 가공폐수는 강원도 G시의 농공단지내 수산물 가공업체에서 발생하는 폐수로 주요 원료는 오징어를 이용한 가공품을 생산하고 있었다. 실험에 사용된 수산물 가공폐수의 주요 성상은 Table 1에 제시하였는데 pH 7.0~8.0,

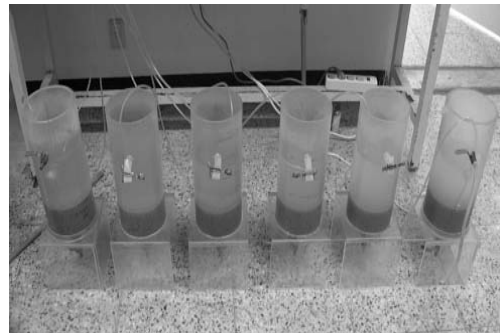


Fig. 1. Photograph of laboratory unit.

Table 1. Characteristics of raw wastewater

(unit : mg/L, except pH)	
Items	Range
pH	7.0~8.0
TCOD <sub>cr</sub>	1,800~2,850
SCOD <sub>cr</sub>	1,200~2,260
TBOD <sub>5</sub>	1,300~1,875
SBOD <sub>5</sub>	900~1,340
SS	200~300
T-N	75~120
NH <sub>3</sub> -N	55~100
T-P	30~35
n-Hexane	72~297

TCOD<sub>cr</sub>은 1,800~2,850 mg/L, TBOD 1,300~1,875 mg/L로 나타났으며 평균 TBOD/TCOD 비는 약 0.65로 조사되었다. 총질소(T-N)는 75.0~120 mg/L, 총인(T-P)은 30~35 mg/L 범위로 조사되었으며, 수산물 가공폐수 특성상 n-Hexane(72~297 mg/L)이 검출되었다.

### 2.2. 실험방법

염분농도에 따른 호기성 생분해도 및 기질특성을 파악하기 위하여 폐수내 염분농도는 NaCl를 이용하여 조정하였으며, 원폐수의 Cl<sup>-</sup> 농도는 1,400 mg/L, 그 외 폐수는 6,000~18,000 mg/L로 변화시켜 실험하였다. 반응조내 MLSS는 4,000~4,500 mg/L, DO는 4.0 mg/L 이상, 반응온도는 30±1°C를 유지하였고, 시료 1 L당 9 g의 NaHCO<sub>3</sub>를 첨가하여 반응조내 알칼리도를 충분히 공급하였다. 실험초기 시료는 2 hr 간격으로 분석하였으며, HRT 12 hr 이후부터는 4 hr 간격으로 분석을 수행하였고, 총 실험시간은 100 hr로 충분한 반응이 이루어 질 수 있도록 하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1. 유기물 제거

Cl<sup>-</sup> 농도에(1,400~18,000 mg/L) 따른 유기물(COD<sub>Cr</sub>) 제거특성은 Fig. 2, 3에 제시하였다. Cl<sup>-</sup> 농도에 따른 초기 TCOD<sub>Cr</sub> 농도는 1,744~1,829 mg/L 였으며 반응 후 최종 TCOD<sub>Cr</sub> 농도는 각 215, 332, 473, 776 mg/L, 최종 제거효율은 Cl<sup>-</sup> 농도에 따라 87.7, 81.4, 74.2, 57.4%로 조사되었다. 초기 SCOD<sub>Cr</sub>은 1,300~1,621 mg/L 였으며 최종 제거효율은 Cl<sup>-</sup> 농도에 따라 84.7, 83.2, 82.1, 70.9%로 조사되어 TCOD<sub>Cr</sub>의 결과와 마찬가지로 Cl<sup>-</sup> 농도가 증가할수록 제거효율이 감소하는 것으로 조사되었다.

Cl<sup>-</sup> 농도에 따른 유기물 제거효율 감소는 원폐수에 적응되었던 미생물들이 반응초기 Cl<sup>-</sup> 농도가 급변함에 따라 미생물 활성도가 떨어졌기 때문으로 판단된다. 이러한 원인에 대하여 Kincannon 등은 Cl<sup>-</sup> 농도가 급변하면 미생물 세포막에 손상을 가져오기 때문에 SCOD<sub>Cr</sub>의 농도가 증가한다고 보고한 결과와 일치한다.<sup>6)</sup> 문의 합성폐수를 적용하여 연속식 흐름을 가지는 SBR 공정에서 COD<sub>Mn</sub> 실험에서 NaCl 8,000 mg/L 이하에서는 생물학적 처리에 영향을 받지 않지만 8,000 mg/L 이상에서는 유기물 제거에 영향을 미친다고 보고하였다.<sup>7)</sup> 본 연구에서는 원폐수와 Cl<sup>-</sup> 농도 6,000 mg/L 이하에서는 최종 SCOD<sub>Cr</sub>의 제거효율이 각 84.7, 83.2%로 거의 유사하게 조사되어 Cl<sup>-</sup> 농도 6,000

mg/L 이하에서는 미생물들이 염분농도에 순응하는 것으로 조사되었으나 그 이상의 농도에서는 미생물에 영향을 미치는 것으로 조사되었다.

### 3.2. 염분 적응도 평가

미생물의 Cl<sup>-</sup> 농도에 대한 적응도를 평가하기 위하여 유기물 기질특성 분석을 실시하였다. 유기물은 일반적으로, 생물학적 분해 가능한 유기물과 분해 불가능한 유기물로 구분되며, 분해 가능한 물질은 빨리 분해되는 물질(readily, S<sub>s</sub>)과 천천히 분해되는 물질(slowly, X<sub>s</sub>)로, 분해 불가능한 물질은 난분해성 용존성 물질(S<sub>i</sub>)과 부유성 물질(X<sub>i</sub>)로 구분된다. 본 연구에서 S<sub>s</sub> 분석은 Ekama 등이 제안한 반응조내 기질 소모량에 의해 결정하는 방법을, S<sub>i</sub>는 Ekama 등이 제안한 물질수지식을, X<sub>i</sub>는 Henze(1992)가 제안한 물질수지식을 각각 적용하였다.<sup>8~10)</sup>

#### 3.2.1. 기질소모에 따른 분석

유기물중 빨리 분해되는 물질(S<sub>s</sub>) 성분은 Fig. 4에 제시한 바와 같이 Cl<sup>-</sup> 농도에 따른 반응초기 기질의 급격한 감소하는 변곡점을 이용하여 산정하였다. 실험결과 원폐수와 Cl<sup>-</sup> 농도 6,000 mg/L 에서는 HRT 9 hr에서 빠르게 소모되는 것으로 조사되었으며, 변곡점에서의 SCOD<sub>Cr</sub> 제거효율은 77.6, 75.8%로 조사되었으나, 12,000 mg/L 이상에서의 제거효율은 각 66.7, 39.8%로 나타나 Cl<sup>-</sup> 농도 6,000 mg/L 이하의 결과와 비교하면 유기물 제거효율이 매우 낮은 조사되었다.

HRT 100 hr 동안 회분식 실험을 수행한 결과, Cl<sup>-</sup> 농도 12,000 mg/L 이하에서 최종 SCOD<sub>Cr</sub> 제거효율은 82.1~84.7% 유사하게 조사되어, 초기 Cl<sup>-</sup> 농도에 대하여 충격부하가 발생하지만 미생물이 Cl<sup>-</sup> 농도에 순응하는 것으로 조사되었다. 그러나 Cl<sup>-</sup> 농도 18,000 mg/L에서의 최종 제거효율은 70.9%로 고농도의 Cl<sup>-</sup> 농도에서는 미생물의 적응이 어려운 것으로 나타났다.

S<sub>s</sub> 실험결과 3.1절에서 언급한 바와 같이 Cl<sup>-</sup> 농도 6,000 mg/L 이하에서는 미생물들이 염분농도에 순응하나 12,000 mg/L 이상의 Cl<sup>-</sup> 농도에서는 삼투압 현상으로 인해 유기물 제거효율이 감소하는 것으로 조사되었다. 문 등은 NaCl 8,000 mg/L 이하에서 초기 유기물 제거효율은 염분에 의한 충격부하로 처리효율이 낮아지나 일정기간을 거치면 더 높은 Cl<sup>-</sup> 농도에도 미생물들이 적응할 수 있다고 보고하고 있다. 또한 NaCl 8,000 mg/L 이상에서는 정상상태로 회복하는데 장기간 소요되며 평균 제거효율도 감소하고,

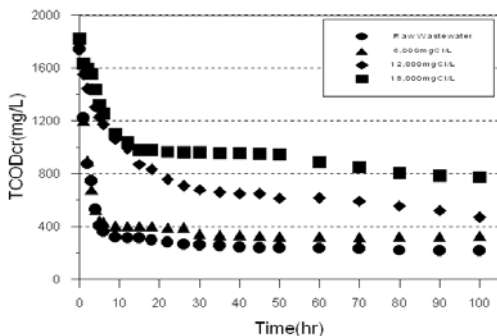


Fig. 2. Variation of TCOD<sub>Cr</sub> removal efficiency.

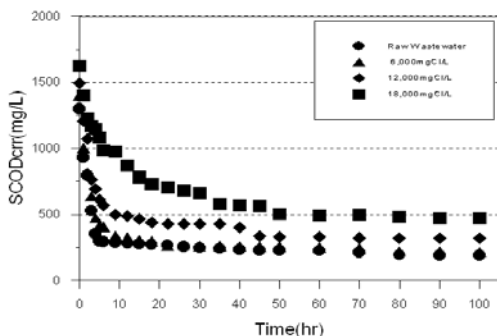


Fig. 3. Variation of SCOD<sub>Cr</sub> removal efficiency.

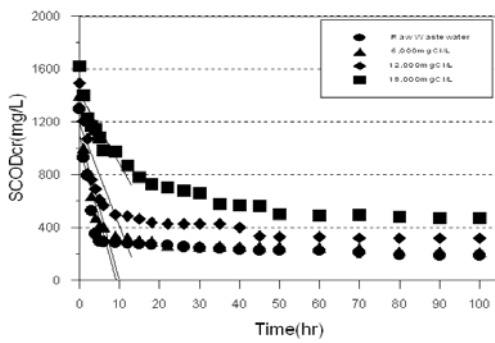


Fig. 4.  $S_s$  calculation using substrate consumption in batch test.

NaCl 10,000 mg/L에서는 유기물 제거와 관련된 미생물이 악영향을 미친다고 보고하였다.<sup>7)</sup> 본 연구에서는  $Cl^-$  농도가 6,000 mg/L 내에서는 미생물이 반응시간동안에 염분에 순응이 되는 것으로 조사되었으나  $Cl^-$  12,000 mg/L 이상에서는 미생물의 생물학적 활성도가 저하되는 것으로 조사되었다.

### 3.2.2. 물질수지를 이용한 분석

물질수지를 이용한 기질분석은 폐수의 COD<sub>Cr</sub>과 BOD<sub>20</sub>을 통하여 산정할 수 있으며, 생물학적 불가능한 물질을 산정하

기 위해서는 미생물 신진대사과정에서 발생하는 inert 물질을 고려하여야 한다.<sup>10)</sup>

Fig. 5는 실제 폐수와 합성폐수의 SCOD<sub>Cr</sub>의 관계를 이용하여 미생물 신진대사과정에서 발생하는 inert 물질을 제외한 순수한 생물학적 분해 불가능한 용존성 유기물( $S_i$ )를 산정한 것이다. 실험초기  $Cl^-$  농도에 따른 실제폐수의 SCOD<sub>Cr</sub>은 1,300~1,621 mg/L, 합성폐수의 SCOD<sub>Cr</sub>은 1,458~1,638 mg/L 이었으며, 반응 후 실제폐수와 합성폐수의 최종 SCOD<sub>Cr</sub>은 각각, 189~471 mg/L, 103~402 mg/L로 조사되었다. 두 기질의 농도를 동일한 조건으로 보정하여 산출한 염분함유 폐수와 합성폐수에서 생성된 inert 물질은 원폐수는 140, 103 mg/L,  $Cl^-$  6,000 mg/L에서는 166, 126 mg/L,  $Cl^-$  12,000 mg/L에서는 175, 254 mg/L,  $Cl^-$  18,000 mg/L에서는 212, 402 mg/L로 산정되었다. 또한  $Cl^-$  농도에 따른 생물학적 분해 불가능한 용존성 유기물 성분의 함유계수  $Y_i$  (폐수내의 용존성 inert COD/폐수내 용존성 COD)는 0.096~0.130로, 미생물 신진대사로 생성되는 inert 물질의 생성계수  $Y_p$ (신진대사로 생성된 inert COD/분해된 용존성 COD)는 0.085~0.393으로 조사되었다.

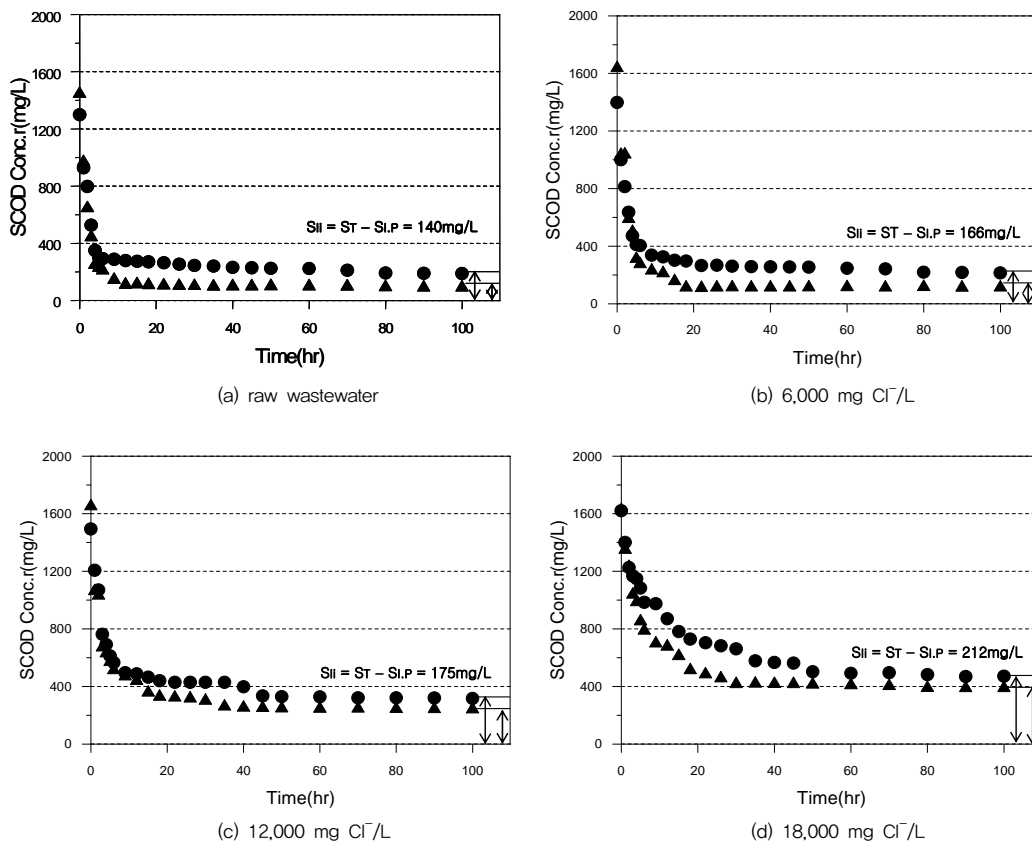


Fig. 5.  $S_i$  calculation using SCOD<sub>Cr</sub> of wastewater.

**Table 2.** Variations of SI coefficient according to chloride concentration

Item	Raw wastewater			
	1.4 gCl <sup>-</sup> /L	6.0 gCl <sup>-</sup> /L	12.0 gCl <sup>-</sup> /L	18.0 gCl <sup>-</sup> /L
Si(mg/L)	140	166	175	212
Si.P(mg/L)	103	126	254	402
YI	0.096	0.101	0.105	0.130
YP	0.085	0.093	0.206	0.393

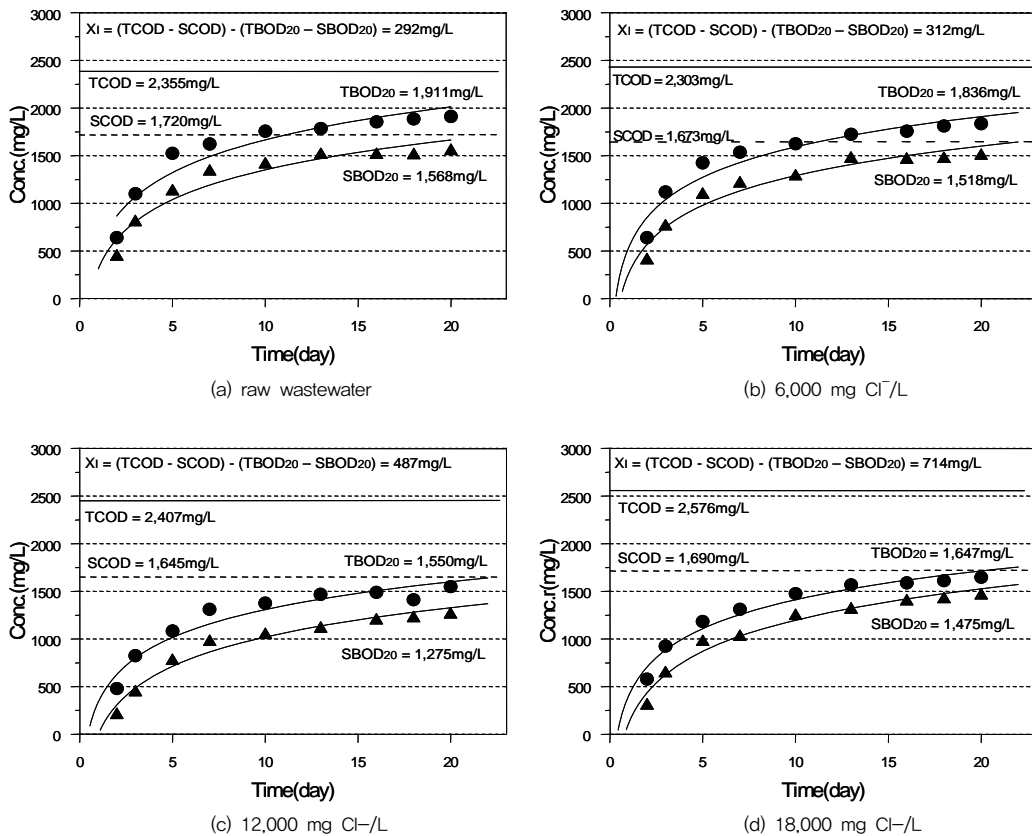
회분식 실험을 통해 산정한 폐수의 S<sub>i</sub> 비율은 Cl<sup>-</sup> 농도에 따라 10.8, 11.9, 11.7, 13.1%로 조사되었으며, 미생물 신진 대사에 의해 발생하는 inert 물질 비율은 Cl<sup>-</sup> 농도에 따라 7.0, 7.6, 15.3, 24.6%로 조사되었다. 이는 한 등<sup>10)</sup>이 보고한 돈사폐수에 적용한 inert 물질 6~8%, Orhon 등<sup>11)</sup>이 보고한 낙농폐수에서 미생물 신진대사에서 발생하는 inert 물질 비율 약 6~7%와 비교하면 Cl<sup>-</sup> 6,000 mg/L 이하에서는 거의 비슷한 경향을 보였으나, Cl<sup>-</sup> 농도가 증가할수록 inert 물질도 점차 증가하는 것으로 조사되었다.

폐수내 생물학적 분해 불가능한 부유성 물질(X<sub>i</sub>)은 [(TCOD-SCOD)-(TBOD<sub>20</sub> - SBOD<sub>20</sub>)]의 관계식을 이용하여 산정할 수 있다. Fig. 6은 X<sub>i</sub>를 산정하기 위하여 Cl<sup>-</sup> 농도

에 따른 각 폐수의 COD<sub>Cr</sub>와 BOD<sub>20</sub>과의 관계를 제시한 것이다. 관계식을 이용하여 산정한 최종 X<sub>i</sub>값은 Cl<sup>-</sup> 농도에 따라 각각 292, 312, 487, 714 mg/L로 산정되었으며, TCOD<sub>Cr</sub>에 대한 X<sub>i</sub>의 비율은 각각 16.8, 17.5, 26.6, 39.1%로 조사되었다. 실험결과 Cl<sup>-</sup> 농도에 따른 폐수내 포함되어 있는 난분해성 물질은 용존성 유기물 보다 부유성 물질의 비율이 더 큰 것으로 조사되었다.

생물학적으로 천천히 분해되는 물질(X<sub>s</sub>)은 원폐수의 COD<sub>Cr</sub>과 앞에서 산정한 S<sub>s</sub>, S<sub>i</sub>, X<sub>i</sub>의 값을 산정하여 X<sub>s</sub> = TCOD - (S<sub>s</sub> + S<sub>i</sub> + X<sub>i</sub>)와 같은 관계식을 적용하여 산정할 수 있다. 물질수지식을 적용하여 산정한 Cl<sup>-</sup> 농도에 따른 X<sub>s</sub> 값은 299, 247, 170, 262 mg/L였으며, 이는 Cl<sup>-</sup> 농도에의 원폐수 총유기물에 대해 17.1, 13.8, 9.3, 14.4%로 Cl<sup>-</sup> 농도가 증가할수록 X<sub>s</sub> 물질의 비율이 점차 증가하는 것으로 조사되었다.

Table 3에서는 회분식 실험 및 물질수지식을 적용하여 산정한 Cl<sup>-</sup> 농도에 따른 폐수의 유기물 기질특성 분율을 제시하였다. 총 유기물(TCOD<sub>Cr</sub>)에서 S<sub>s</sub> 성분은 Cl<sup>-</sup> 농도에 따라 58.1, 58.4, 54.5, 34.9%로, 특히 Cl<sup>-</sup> 18,000 mg/L 함유폐



**Fig. 6.** X<sub>i</sub> calculation using COD and BOD of wastewater.

수의 경우 S<sub>s</sub>의 비율이 급격히 감소하였다. X<sub>s</sub>는 Cl<sup>-</sup> 농도에 따라 17.1, 13.8, 9.3, 14.4%로 조사되었으며, S<sub>i</sub> 성분은 8.0~11.6%, X<sub>i</sub> 성분은 16.8~39.1%로 특히 Cl<sup>-</sup> 농도 18,000 mg/L에서는 X<sub>i</sub> 성분이 급격히 증가하였다. 용존성 유기물(SCOD<sub>cr</sub>)에서는 Cl<sup>-</sup> 농도 12,000 mg/L 이하에서 S<sub>s</sub>는 66.7~77.9%, 18,000 mg/L에서는 39.2%로 높게 조사되었으며, X<sub>s</sub> 역시 Cl<sup>-</sup> 농도에 12,000 mg/L 이하에서는 11.4~21.6%, Cl<sup>-</sup> 18,000 mg/L에서는 47.7%로 높게 조사되었으며, S<sub>i</sub>는 10.8~13.1%로 Cl<sup>-</sup> 농도에 따른 편차가 적은 것으로 조사되었다.

실험결과, Cl<sup>-</sup> 농도 6,000 mg/L 이하에서는 기질특성의 변화가 적었으나, Cl<sup>-</sup> 농도 12,000 mg/L 부터 기질 변화가 나타났으며, Cl<sup>-</sup> 농도 18,000 mg/L에서는 호기성 미생물에 심각한 영향을 나타내는 것으로 조사되었다. 따라서 안정적인 호기성 처리 상태를 유지하기 위해서는 Cl<sup>-</sup> 6,000 mg/L 이하로 유지하고, 유입폐수의 염분농도 변동폭을 적게 유지해야 미생물의 영향을 최소화 할 수 있을 것으로 판단된다.

### 3.3. 염분농도에 따른 질소거동

호기성 조건에서 Cl<sup>-</sup> 농도에 따른 질소거동을 파악하기 위하여 회분식 실험을 실시하였으며, 그 결과를 Fig. 7에 제시하였다. 실험초기 NH<sub>3</sub>-N 농도는 64.9~75.3 mg/L 였으며, 반응 후 최종 농도는 원폐수 4.9 mg/L, Cl<sup>-</sup> 농도(6,000~18,000 mg/L)에 따라서 4.6, 2.4, 3.4 mg/L, 제거효율은 원폐수 97.5%, Cl<sup>-</sup> 농도(6,000~18,000 mg/L)에 따라 각각 97.1, 96.8, 95.4%로 높은 제거효율을 나타냈다. 그러나 원폐수는 HRT 18 hr에서 96.2%의 제거효율을 나타낸 반면, Cl<sup>-</sup> 농도 6,000 mg/L에서는 HRT 22 hr에서 96.5%, 12,000 mg/L에서는 HRT 30 hr에서 90.2%, 18,000 mg/L

는 HRT 45 hr에서 90.3%의 제거효율을 나타내 Cl<sup>-</sup> 농도에 따라 반응시간에 많은 차이가 발생하였다. Panswad 등은 Cl<sup>-</sup> 농도가 증가하면 반응초기 암모니아 제거효율에 영향을 미치고 일정시간 후 미생물이 Cl<sup>-</sup> 농도에 적응하면 제거효율은 회복되나, 지속적으로 Cl<sup>-</sup> 농도가 증가하면 질산화에 영향을 미친다고 보고하였다.<sup>12,13)</sup> Chen, Wong은 일정한 염분농도에서는 연속식 흐름을 가지는 배양조에서 질산화 미생물이 염분에 대한 적응이 더 빠르고, Cl<sup>-</sup> 농도 18.2g/L 이상에서는 질산화에 영향을 받는다고 하였으며, Dahl 등은 Cl<sup>-</sup> 농도 20g/L 이하에서 질산화가 가능하다고 하였다.<sup>14,15)</sup>

Cl<sup>-</sup> 농도에 따른 질산화 경향은 Fig. 7에 제시된 바와 같이 NO<sub>2</sub>-N이 NO<sub>3</sub>-N으로의 전환율이 낮아 NO<sub>2</sub>-N이 축적되는 현상이 나타났다. 김 등은 염분농도가 증가할수록 NO<sub>2</sub>-N이 높게 검출된다고 하였는데 이러한 원인으로 염분이 *Nitrosomonas* 보다 *Nitrobacter*에 더 큰 저해작용을 한다고 보고하였다.<sup>7)</sup> 또한 Y.W. cui 등은 폐수내 Cl<sup>-</sup> 농도가 질산화 과정에서 inhibition이 발생하여 NO<sub>2</sub>-N이 축적되는데 이는 아탈질(denitritation)과정을 통하여 질소를 제거할 수 있다고 보고하였다.<sup>16)</sup> 본 연구에서 NO<sub>2</sub>-N 축적현상은 Cl<sup>-</sup> 농도가 낮은 원폐수(1,400 mg/L)에서도 민감하게 반응하고 Cl<sup>-</sup> 농도에 따른 큰 차이는 없는 것으로 조사되었다. 3.1과 3.2절의 유기물 제거 경향과 비교하면 Cl<sup>-</sup> 농도가 유기물제거보다 질산화 과정에 영향을 더 크게 미치는 것으로 조사되었다.

Fig. 8은 Cl<sup>-</sup> 농도에 따른 NH<sub>3</sub>-N 제거효율에 대한 반응차수와 반응속도상수 산정에 대하여, Fig. 9는 Cl<sup>-</sup> 농도에 따른 반응속도상수 변화에 대하여 제시하였다. Cl<sup>-</sup> 농도에 따른 반응차수는 1차 반응 형태를 나타냈으며, 반응속도상수는 Cl<sup>-</sup> 농도가 증가함에 따라 점차 감소하는 것으로 조사되었다.

Table 3. Result of COD<sub>cr</sub> fraction in wastewater due to chloride concentration

Items	Fraction to the Total Organics(%)				Fraction to the Soluble Organics(%)			
	Raw	6.0 gCl <sup>-</sup> /L	12.0 gCl <sup>-</sup> /L	18.0 gCl <sup>-</sup> /L	Raw	6.0 gCl <sup>-</sup> /L	12.0 gCl <sup>-</sup> /L	18.0 gCl <sup>-</sup> /L
Total Organics	100.0	100.0	100.0	100.0	-	-	-	-
Sol. Organics	-	-	-	-	100.0	100.0	100.0	100.0
Sus. Organics	-	-	-	-	-	-	-	-
S <sub>s</sub>	58.1	58.4	54.5	34.9	77.9	75.8	66.7	39.2
Soluble	58.1	58.4	54.5	34.9	77.9	75.8	66.7	39.2
Suspended	-	-	-	-	-	-	-	-
X <sub>s</sub>	17.1	13.8	9.3	14.4	11.4	12.4	21.6	47.7
Soluble	-	-	-	-	11.4	12.4	21.6	47.7
Suspended	17.1	13.8	9.3	14.4	-	-	-	-
S <sub>i</sub>	8.0	9.3	9.5	11.6	10.8	11.9	11.7	13.1
X <sub>i</sub>	16.8	17.5	26.6	39.1	-	-	-	-

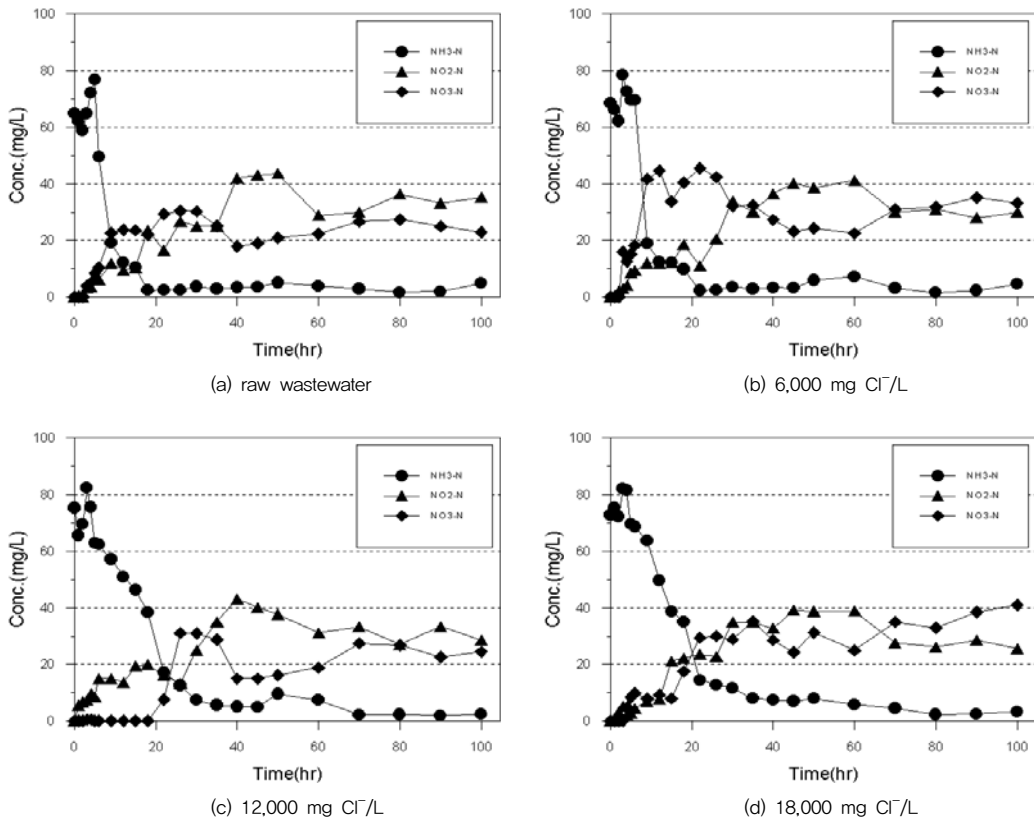


Fig. 7. Variation of NH<sub>3</sub>-N removal efficiency.

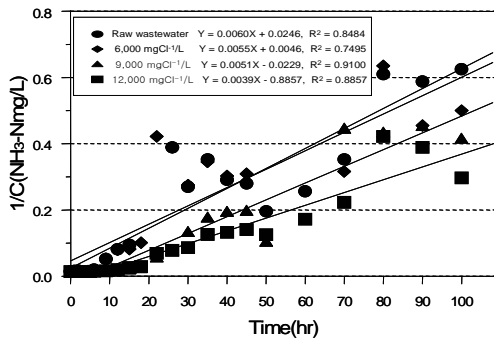


Fig. 8. Determination of reaction order and reaction rate coefficients according to chloride conc.

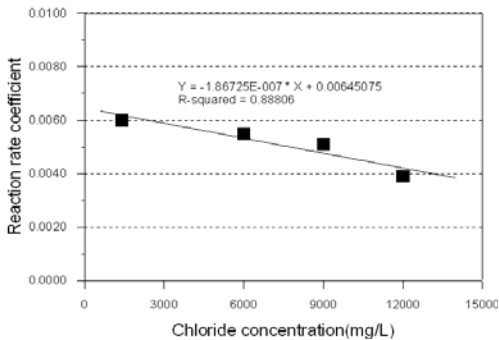


Fig. 9. Variation of reaction rate coefficient according to chloride conc.

#### 4. 결론

Cl<sup>-</sup> 농도에 따른 호기성 최종 생분해도 및 미생물의 염분 적응도 평가를 위해 수행된 생물학적 기질특성 분석결과는 다음과 같다.

- 1) Cl<sup>-</sup> 농도(raw wastewater~18,000 mg/L)에 따른 TCOD<sub>Cr</sub>의 최종 제거효율은 87.7, 81.4, 74.2, 57.4%, SCOD<sub>Cr</sub>는 84.7, 83.2, 82.1, 70.9%로, Cl<sup>-</sup> 농도가 증가 할수록 유기물 제거효율이 감소하였다. SCOD<sub>Cr</sub>은 Cl<sup>-</sup> 농도 6,000 mg/L 이하에서는 영향이 적으나 6,000 mg/L 이상에서는 미생물 활성도에 영향을 미치는 것으로 조사되었다.
- 2) Cl<sup>-</sup> 농도 6,000 mg/L 이하에서의 S<sub>s</sub>는 HRT 9 hr 에서 용존성 유기물의 제거효율은 78.4, 76.7%로, 12,000 mg/L 이상에서는 66.7, 39.8%로 조사되었다. 반응시간이 증가함에 따라 Cl<sup>-</sup> 농도 6,000 mg/L 이하에서는 미생물들은 염분에 순응하였으나 Cl<sup>-</sup> 농도 12,000 mg/L 이상에서는 반응시간이 길어져도 처리효율이 개선되지 않는 것으로 조사되었다.

- 3) 생물학적 분해 불가능한 용존 유기물 함유계수  $Y_1$ 는  $Cl^-$  농도(0.0~18,000 mg/L)에 따라 0.096, 0.101, 0.105, 0.130, 미생물 신진대사에 의한 inert 물질 생성계수  $Y_p$ 는 각 0.085, 0.093, 0.206, 0.393으로 조사되었다. 회분식 실험을 통해 산정한  $S_1$  비율은  $Cl^-$  농도에 따라 10.8, 11.9, 11.7, 13.1%로, 미생물 신진대사에 의한 inert 물질의 비율은  $Cl^-$  농도에 따라 7.0, 7.6, 15.3, 24.6%로 조사되었다.
- 4)  $Cl^-$  농도에 따른 기질특성 분석결과, 총 유기물(TCODcr)내  $S_s$ 는 34.9~58.4%,  $X_s$ 는 9.3~14.4%,  $S_i$ 는 8.0~11.6%,  $X_i$ 는 16.8~39.1%로, 용존성 유기물(SCODcr)의  $S_s$ 는 39.2~77.9%,  $X_s$ 는 11.4~47.7%,  $S_i$ 는 10.8~13.1%로 조사되었다. 기질특성 분석결과 안정적인 처리효율을 이루기 위해서는  $Cl^-$  농도를 6,000 mg/L 이하로 유지하여야 한다.
- 5) 질산화 과정에서  $NH_3-N$  제거율은, 원폐수는 HRT 18 hr에서 96.2%의 제거효율을 보였으나,  $Cl^-$  농도 6,000 mg/L는 HRT 22 hr에서 96.5%, 12,000 mg/L는 HRT 30 hr에서 90.2%, 18,000 mg/L에서는 HRT 45 hr에서 90.3%의 제거효율을 나타내 유기물 제거 보다 질산화과정이  $Cl^-$  농도에 더 민감하였으며,  $Cl^-$  농도 6,000 mg/L 이상에서는 질산화 미생물 *Nitrosomonas*에 영향을 미쳐  $NO_2-N$  축적현상이 나타났다.

**KSEE**

**사 사**

본 연구는 중소기업청 산학연협력 기업부설연구소 지원사업의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사합니다.

**참고문헌**

1. 박광서, "최근 국내수산물 소비동향 및 대응방안", Korea Maritime Institute, 해양수산동향, 1247(2007).
2. 이남수, "국내 씨푸드 산업의 현황 및 전망", Korea Maritime Institute, 해양수산동향, 1245(2007).
3. 최성애, 홍현표, 마창모, "수산업 클러스터 형성에 관한 기초연구", Korea Maritime Institute(2008).

4. 기문봉, 김낙주, 이시진, 산업폐수처리, 동화기술(1998).
5. Olivier Lefebvre., Rene Moletta., "Treatment of organic pollution in industrial saline wastewater: a literature review", *Water Research.*, **40**, 3671~3682(2006).
6. Kincannon, D. F., and Gaudy, A. F., "Response of biological waste treatment systems to changes in salt concentrations". *Biop-technol. Bioeng.*, **10**, 483~496(1968).
7. 문병형, 윤조희, 서규태, 김상수, "SBR에서 염분농도와 C/N비가 오염물질의 제거에 미치는 영향", *대한환경공학회지*, **24**(2), 251-260(2002).
8. Ekama, G. A., and Marais G. V. R., "Procedures for Determining Influent COD fractions and the Maximum Specific Growth Rate of Heterotrophs in Activated Sludge Systems," *Wat. Sci. Technol.*, **18**, 91-114(1986).
9. Henze, M., "Characterization of Wastewater for Modeling of Activated Sludge Process," *Wat. Sci. Tech.*, **25**(6) 1~15(1992).
10. 한동준, 류재근, 임연택, 임재명, "생물학적 영양영류 제거를 위한 돈사폐수의 반응특성", *대한환경공학회지*, **20**(3), 371-384(1998).
11. Orhon, D., et al., "Biological Treatability of Dairy Wastewaters", *Water. Res.*, **27**(4), 625~633(1993).
12. Panswad, T., and Anan, C., "Impact of high chloride wastewater on an anaerobic /anoxic/aerobic process with and without inoculation of chloride acclimated seeds", *Water Res.*, **33**(5), 1165~1172(1999).
13. Panswad, T., and Anan, C., "Specific oxygen, ammonia, and nitrate uptake rates of a biological nutrient removal process treating elevated salinity wastewater", *Bioresour. Technol.*, **70**, 237~243(1999).
14. Chen, G. H., and Wong, M. T., "Impact of increased chloride concentration on nitrifying-activated sludge cultures". *J. Environ. Eng.-ASCE.*, **130**(2), 116~125(2004).
15. Dahl, C., Sund, C., Kristensen, G. H., and Vredendregt, L., "Combined biological nitrification and denitrification of high salinity wastewater". *Water Sci. Technol.*, **36**(2-3), 345~352(1997).
16. Y. W. Cui, Y. Z. Peng., et al., "Achieving biological nitrogen removal via nitrite by salt inhibition", *Water Sci. & Technol.*, **53**(6) 115~122(2006).