

SBR공정에서 영양염류 제거에 대한 염분의 영향

The Effect of Salinity on Biological Nutrient Removal in SBR

송창수, 오준성*

Song, Changsoo, Oh, Junseung

호남대학교 토목환경공학과, *전남대학교 자원공학과

Dept. of Civil and Environmental Engineering, Honam University

*Dept. of Resource Engineering, Chonnam University

Abstract

The effect of a salinity on the performance of a biological nutrient removal system was investigated using a model SBR(Sequencing Batch Reactor) system. The system was operated at a 12hr, 18hr, 24hr and 36hr HRT with a salinity level of 20,000mg/L and compared with a system similarly operated with fresh water. The influent salinity level of 8,000 mg/L does not have a significant effect on BOD removal efficiency, there is a noticeable decrease in BOD removal rate from 10,000 mg Cl-/L. The Nitrogen could be removed from the saline wastewater with the same efficiency as for the fresh water because of low C/N ratio in anoxic period. The excess biological phosphorous removal is highly affected by the increase in the influent salinity. The efficiency is decreased from 96.6% to 43.4% when the influent salinity is increased from 0 to 20,000mg/L.

Keywords : SBR, salinity, BOD, Nitrogen, Phosphorous

1. 서 론

남해안 모지역에서 하수관로내의 Cl⁻농도는 간 조시에 58mg/L, 만조시 10,030mg/L을 보여주고 있는 점을 고려할 때, 유입된 바닷물에 의한 하수 처리에의 영향에 대한 연구가 필요한 실정이다.

염분의 영향에 대한 과거의 연구결과를 살펴보면, Ludzack와 Noran¹⁾은 활성슬러지공정에서 유입수의 염분농도가 5,000~8,000mg/L로 유지되는 경우 처리효율의 변화는 관찰되지 않았으나 염분 농도를 100에서 20,000 mg/L으로 증가시켰을 때에는 산소 요구량이 높아지는 것으로 나타났으며, 질산화율은 염분농도가 낮은 경우와 비교하여 10%이상의 증가를 나타내었다고 하였다. Burnett²⁾

는 충분한 적용기간(3주간)을 거친 후 염분이 존재하지 않는 유입수와 염분농도가 35,000mg/L인 유입수에 대한 처리효율 비교에 있어서 차이점을 발견할 수 없었으나, 적용기간을 거치지 않고 충격부하로 작용할 경우에는 미생물 성장을 저해함과 아울러 처리효율이 저하되는 것으로 나타났다. Bidshop와 Kinner³⁾는 회전원판법을 이용하여 유입수의 염분 농도가 20,000mg/L에서 BOD제거 능력을 시험했는데, 수리학적 부하가 0.04와 0.08 m³/m²·d일 때 유출수의 BOD농도는 20mg/L이하이며, COD제거율은 61~64%로서 염분이 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

Kincannon과 Gaudy⁴⁾는 염분 농도가 없는 하수에 적용된 활성슬러지들이 30,000 mg/L의 염분

농도가 충격으로 주어졌을 때에는 유기물질 제거 효율이 30%의 감소를 보여주었다. 아울러 30,000mg/L에서 적용시킨 활성슬러지를 염분 농도가 없는 하수에 투입시에는 유기물질 제거효율이 75%의 감소를 보여주었다.

Hamoda와 Al-Attar⁵⁾은 활성슬러지공정에서 유입수에 염분이 없는 상태와 10,000mg/L, 30,000mg/L의 농도를 나타내는 유입수에 대하여 상호 비교를 통하여 halophilic microorganism 성장에 의한 유기물질 제거 효율에 차이가 없음을 제안하였다. 또한, 침전성을 나타내는 SVI는 다양한 염분농도에서 60~110을 나타내어 flocc-forming bacteria가 적정하게 생성된다고 제안하였다. Intrasungkha등⁶⁾은 HRT를 18hr로 유지한 SBR공정에서 염분농도에 따른 각 성분의 처리 효율을 검토하였다. 염분농도를 5,000mg/L까지 올림에 따라 유기물 제거율은 87%에서 53%로 감소하여 경향을 보여주고 있으나, 총질소 제거효율에 있어서는 C/N비가 충분히 높아 변화를 보여주지 않고 있다. 그러나, 인의 제거율은 92%에서 15%로 급격한 감소를 보여주고 있다.

이상의 연구결과를 바탕으로 본 연구에서는 최근 널리 적용되고 있는 SBR공법을 이용하여 국내 하수와 같이 저농도부하로 운전되는 경우에 있어서 염분농도가 어떠한 영향을 주는지를 판단하고자 하였다.

2. 실험방법

본 연구에 사용한 시료는 Table 1과 같으며, 유기물원으로 glucose를, 질소원으로 NH₄Cl, 인 성분으로 KH₂PO₄를 사용하였다. 염분으로는 NaCl을 사용하였다.

본 실험에 사용한 반응조는 두께 5mm의 투명한 아크릴을 사용하여 제작하였으며, 반응조의 최대용적은 최대 24L이다. 시료주입은 정량펌프를 이용하였으며, 반응시의 공기주입은 Aerator, 교반

조건은 Mixer를 부착하여 실시하였다. 처리수의 유출은 정량펌프를 사용하였으며, Timer를 부착하여 운전조건을 제어하였다. SBR공정의 1주기는 6시간(360분)으로 설정하였으며, 각 단계별 시간은 무산소유입 135분, 호기성 유입 45분, 반응 90분, 침전 45분, 유출 30분 및 휴지 15분으로 설정하였다.

SBR반응조는 4개를 제작하였으며, 수리학적 체류시간이 12 hr, 18 hr, 24hr 및 36hr이 되도록 유입수량을 조절하였다. 염분농도에 대한 충격을 감소시키기 위하여 동일한 수리학적 체류시간으로 유입수의 CI의 농도를 0에서 20,000mg/L범위에서 까지 단계적으로 높여주면서 실험하였다. 유입수의 CI은 저농도 범위를 3,000mg/L이하로 설정하고, 중간 범위를 5,000~8,000, 고농도 범위를 10,000mg/L이상으로 구분하였다. 실험결과에 대한 분석은 수질 분석을 통하여 변화를 발생하지 않는 상태에서 결과를 제시하였으며, 저농도에서는 7일, 중간농도에서는 20일, 고농도에서는 30일이상이 필요하였다. 안정화가 이루어진 시간은 저반응조 최대 부피에서의 MLSS농도는 3,000~3,500mg/L를 유지시켰다.

3. 결과 및 고찰

3.1 유기물 제거

CI에 대한 농도를 0에서 20,000mg/L까지 단계적으로 증가시킴에 따라 유출수의 평균 BOD 및 제거효율은 Fig. 1과 같다.

CI의 농도가 8,000mg/L까지 증가함에 따라 BOD제거율은 완만한 감소세이지만, 10,000mg/L 이상에서는 급격한 감소를 보여주고 있다. 처리수의 BOD기준을 20mg/L로 설정할 경우에는 CI농도 10,000 mg/L이상에서는 기준치를 넘게 되며, 기준치를 10mg/L로 했을 경우에는 5,000mg/L 이상에서는 기준치를 넘는 것으로 나타났다.

처리효율에 대한 영향을 파악하기 위하여 0mg/L

Table 1. The composition of influent wastewater

Parameter	pH	DO	BOD	SS	T-N	T-P	CI
Concentration	7.4	4.0	132	137	22.3	4.2	0~20,000

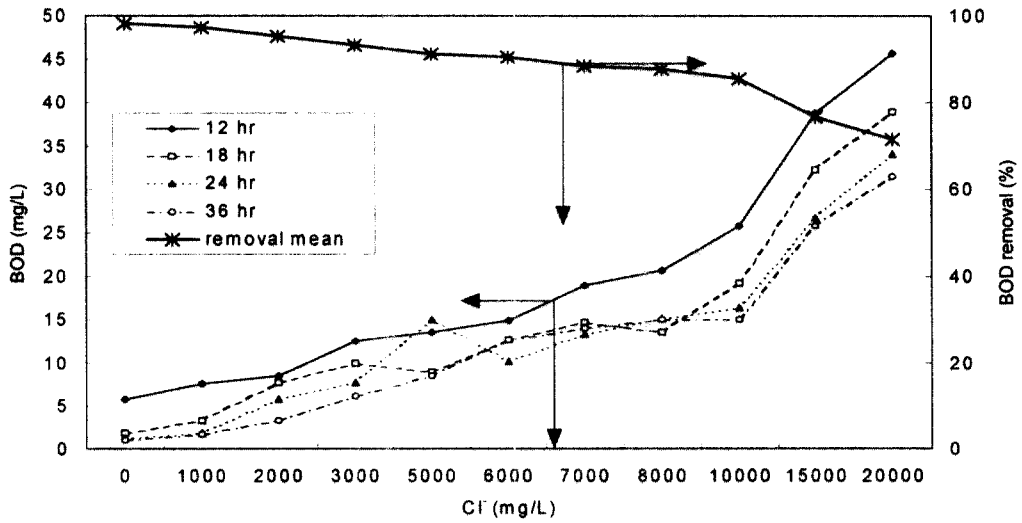


Fig. 1. Variation of effluent BOD concentration and BOD removal efficiency at various influent Cl⁻ concentration and HRT.

를 기준으로 T-test를 실시한 결과는 Table 2와 같으며, Cl⁻농도가 3,000mg/L이상에서 유의수준 95%에서 담수와 차이를 보여주고 있다.

HRT에 따른 영향을 살펴보기 위하여 12hr을 기준으로 T-test를 실시한 결과는 Table 3과 같다. 12

시간을 기준으로 하여 염분농도 변화에 따른 처리 효율의 평균을 비교한 결과, 95% 유의수준에서 HRT에 따른 차이를 보여주지 못했다. 즉 HRT에 따른 BOD제거효율은 차이가 없다.

Table 2. Mean and variance of BOD removal efficiency and result of paired T-test at various Cl⁻ concentration.

Cl ⁻ (mg/L)	0	3,000	5,000	8,000	20,000
Mean	98.13	95.23	91.28	87.78	71.58
Variance	2.90	3.00	6.25	5.66	22.52
T-value	-	2.387*	4.529*	7.073*	10.531*
probability	-	0.027	0.003	0.0004	0.0002

* : 95%유의수준에서 유의함

Table 3. Mean and variance of BOD removal efficiency and result of paired T-test at various HRT.

HRT	12hr	18hr	24hr	36hr
Mean	85.34	88.77	89.85	90.74
Variance	95.01	75.81	57.44	54.79
T-value	-	0.8697	1.2111	1.4657
probability	-	0.1974	0.1203	0.0795

3.2 질소 제거

질소 제거에 대한 Cl^- 의 영향은 Fig. 2~Fig. 4과 같다. 유입수의 총질소 농도가 22.3mg/L이고, 이 중 암모니아성 질소의 농도는 17.5mg/L이다. 질산화를 나타내는 처리수의 암모니아성 질소의 농도는 Cl^- 및 HRT에 관계없이 0.4mg/L이하를 나타내고, 아질산성 질소와 질산성 질소의 농도의 합은 모든 조건에서 12mg/L이하를 나타내었다. 이상에서 주어진 실험범위(Cl^- 20,000mg/L이하)에서는 Cl^- 농도가 질산화에 악영향을 주지 않는다고 추론할 수 있다.

Panswad와 Anan⁷⁾은 질산화 미생물이 Cl^- 농도에 대한 적응력을 판단하기 위하여 70,000mg Cl^-/L 충격부하 후에 회복하는 시간을 측정된 결과, heterotroph보다 질산화 미생물이 염분농도에 강한 적응능력을 갖고 있다고 제안했다. 본 연구 결과에서도 Cl^- 의 농도가 10,000mg/L이상에서 유기물 농도는 20mg as BOD/L를 보여주지만, 암모니아성 질소의 농도는 1mg/L이하를 보여줌으로서 Panswad와 Anan의 결과를 간접적으로 입증하고 있다고 할 수 있다.

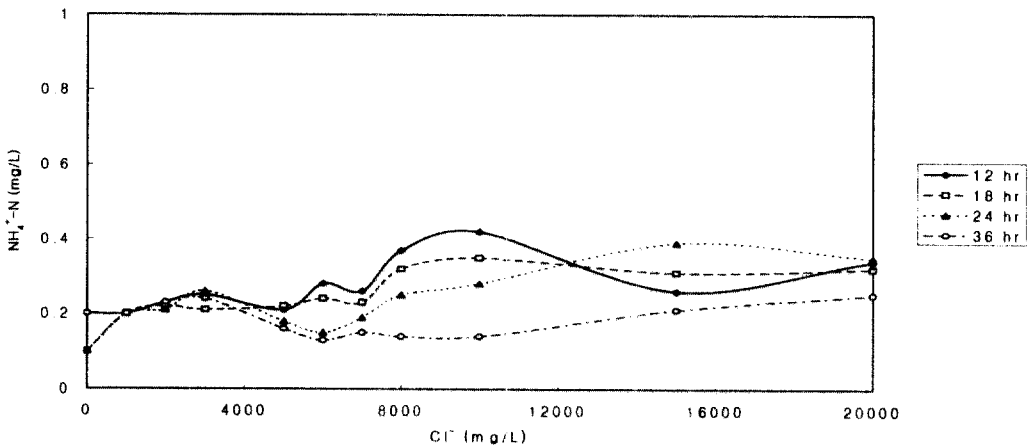


Fig. 2. Variation of NH_4^+-N of effluent at various influent Cl^- concentration and HRT.

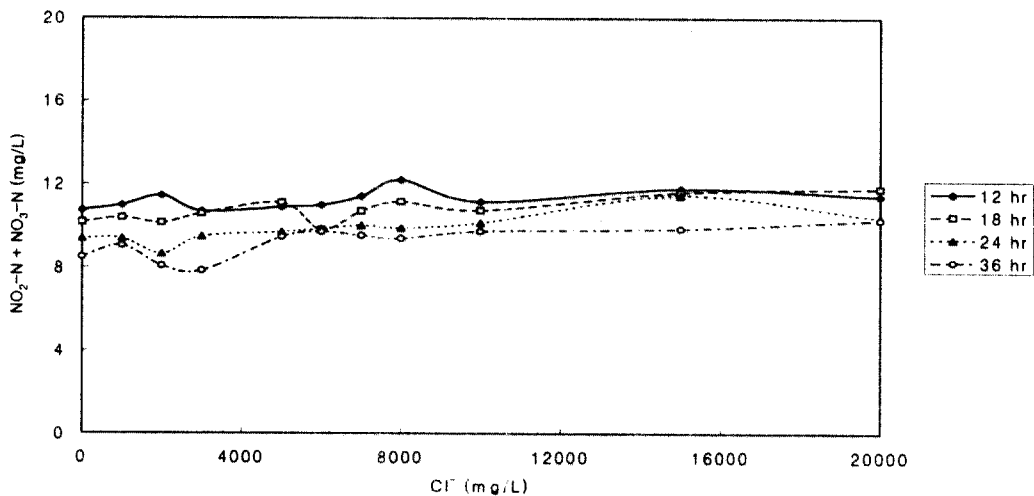


Fig. 3. Variation of $NO_2-N + NO_3-N$ of effluent at various influent Cl^- concentration and HRT.

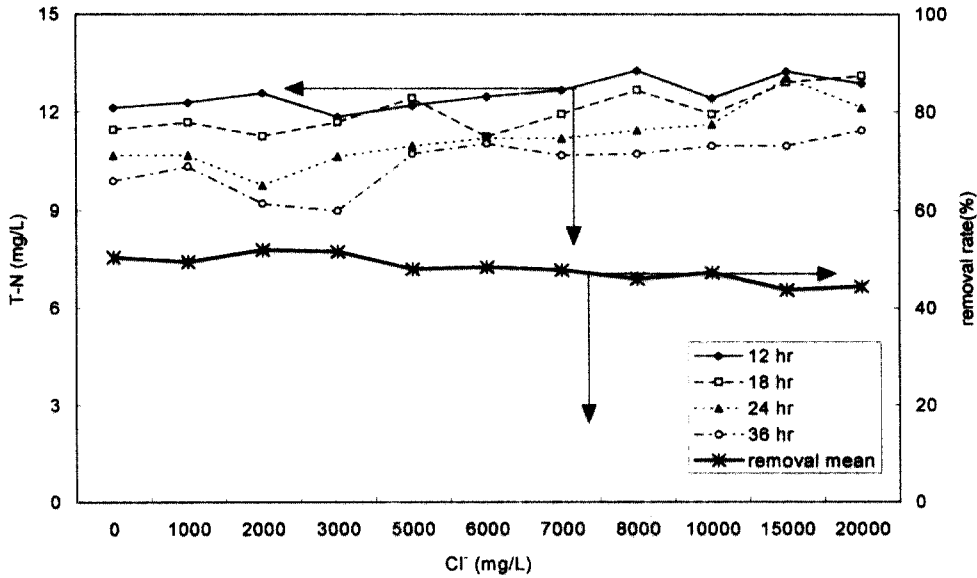


Fig. 4. Variation of effluent T-N concentration and T-N removal efficiency at various influent Cl⁻ concentration and HRT.

Fig. 3과 Fig. 4에서 탈질을 나타내는 처리수의 질산성 질소의 농도와 총질소의 농도는 Cl⁻농도에 따라 차이점을 보여주지 않는다. 이러한 결과는 4,000mg/L이하에서 실험한 Abu-ghararah와 Sherrard⁹⁾의 결과와 동일하다. 그러나, 유 등⁹⁾은 충분한 C/N비를 확보한 상태에서 염분농도에 따른 실험을 행한 결과, 0%에서 1%까지는 염분농도 증가에 따라 일정한 비율로 탈질속도가 감소하는 경향을 보이다가 염분농도가 1.5%에서는 다시 증가하는 경향을 보이는 것으로 발표하였다.

본 실험에서는 탈질 반응이 일어나는 주기의 평균 BOD/N는 2.38이었다. 비교 실험을 위하여 탈질 주기에 BOD/N비율 6이 되도록 유기물원인 glucose를 추가로 공급하였을 때, 실험범위인 20,000 mg as Cl⁻/L이하에서 처리수 T-N값이 3mg/L이하로 양호한 결과를 보여주었으며, Cl⁻농도에 따른 영향을 발견할 수 없었다. 이상의 실험 결과로부터 총질소 제거는 Cl⁻보다는 유기물 농도가 우선적으로 영향을 주는 것으로 추론할 수 있다.

3.3 인 제거

Cl⁻농도에 따른 인제거에 대한 실험 결과는 Fig. 5와 같다. Cl⁻농도가 증가함에 따라 처리효율이 감

소하는 경향을 보여주지만, 4,000mg/L이하에서는 80%이상의 양호한 결과를 보여준다. Cl⁻농도가 중간값에서 20,000mg/L로 증가함에 따라 인의 제거율은 43.4%로 감소하고 있다. 그러나, HRT에 따른 인제거율의 영향은 무시할 수 있다.

염분농도에 따라 인제거효율이 감소한 것은 질산성 질소에 의한 간섭과 인제거 미생물측면으로 나누어 살펴볼 수 있다. 인제거에 대한 질산성 질소의 간섭측면을 판단하기 위하여 생분해성이 높은 유기물인 glucose를 200mg as BOD/L, 질산성 질소를 1mg/L로 유지한 상태에서 Cl⁻를 10,000mg/L으로 충분히 적용시켰을 때, 인제거효율은 58.4%로서 유기물 추가 효과가 나타나지 않았다. 이상으로부터 질산성 질소에 의한 간섭효과는 작다고 추론할 수 있다.

인제거 미생물측면은 Intrasungkha등⁶⁾이 5,000mg/L이상의 염분농도에서 인제거에 관제하는 미생물 수의 감소를 관찰한 결과를 제시하였으며, Panswad와 Anan은 높은 염분농도로 인하여 삼투압이 증가를 일으키고, 인축적용량(Phosphate Accumulation Capacity)이 감소를 일으키므로 인제거효율이 감소하는 가설을 제시하고 있다¹⁰⁾.

이상의 결과로부터 인제거에 관여하는 미생물은 Cl⁻ 4,000mg/L이하에서 적절한 활동성을 보여

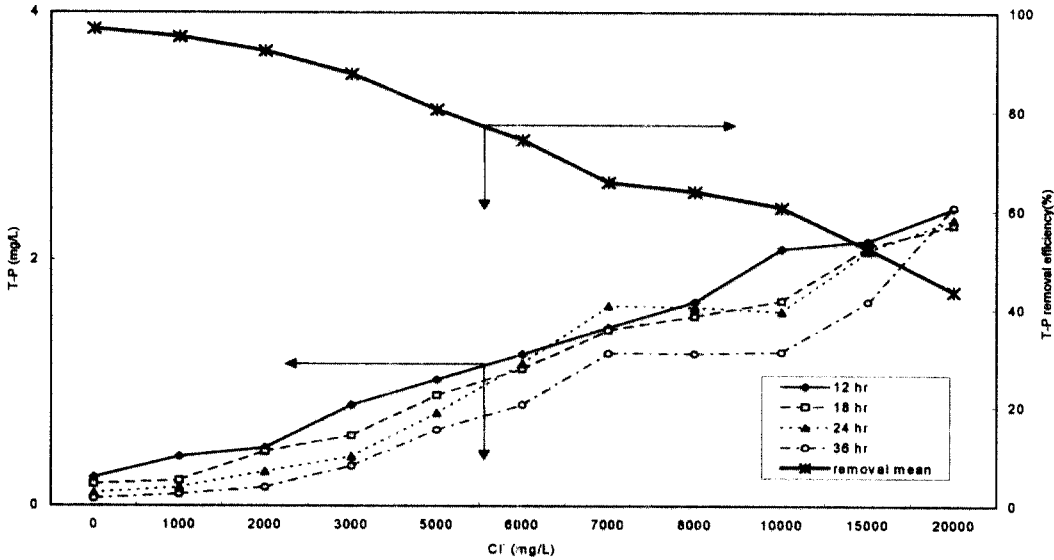


Fig. 5. Variation of effluent total phosphorous and T-P removal efficiency at various influent Cl⁻ and HRT.

주지만, 5,000mg/L 이상에서는 Cl⁻ 영향을 받는 것으로 추론할 수 있다.

4. 결 론

국내하수에 SBR공정을 도입함에 있어서 염분농도가 미치는 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 유기물제거에 있어서 Cl⁻농도가 8,000mg/L까지는 제거효율에 있어 완만한 감소를 보여주지만, 10,000mg/L 이상에서는 급격한 감소를 보여준다.
2. 질산화에 있어서 20,000mg/L까지의 Cl⁻농도에서는 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 탈질에 있어서는 낮은 C/N비로 인하여 충분한 탈질을 얻을 수 없었으나, 유기물 추가시에는 충분한 탈질을 얻을 수 있다.
3. 총인의 제거에 있어서는 Cl⁻농도가 4,000mg/L까지 적절한 처리효율을 보여주지만, 5,000mg/L 이상에서는 급격한 감소를 보여주고 있다. 이는 불충분한 탈질로 인한 영향보다는 인 제거 미생물이 Cl⁻ 영향을 받는 것으로 추론된다.
4. 반응조의 수리학적 체류시간에 따른 BOD, 질소 및 인의 제거효율은 차이점을 발견할 수 없었다.

참고문헌

1. Ludzack F. J. and Noran, D. K., Tolerance of high salinities by conventional wastewater treatment processes, *Journal WPCF*, Vol. 37, No.10, 1404-1416(1965).
2. Burnett, W. E., The effect of salinity variations on the activated sludge process, *Water & Sew. Works*, Vol. 121, 37(1974).
3. Bishop, P. L. and Kinner, N. E., Rotating biological contactor treatment of hypersaline wastes, *Proceedings of the 36th Purdue industrial waste conference*, 644-651(1981).
4. Kincannon, D. F. and Gaudy, A. F. Jr., Some effects of high salt concentrations on activated sludge, *Journal WPCF*, Vol. 38, No.7, 1148-1159(1966).
5. Hamoda M. F. and Al-attar, I. M. S., Effects of high sodium chloride concentrations on activated sludge treatment, *Wat. Sci. Tech.*, Vol. 31, No. 9, 61-72(1995).
6. Intrasungkha, N., Keller, J. and Blackall, L. L., Biological nutrient removal efficiency in treating of saline wastewater, *Wat. Sci. Tech.*

- Vol. 39, No.6, 183-190(1999).
7. Panswad, T. and Anan, C., Specific oxygen, ammonia, and nitrate rates of biological nutrient removal process treating elevated salinity wastewater, *Bioresource Technology*, Vol. 70, 237-243(1999).
 8. Abu-ghararah, Z. H. and Sherrard, J. H., Biological nutrient removal in high salinity wastewater, *J. Environ. Sci. Health*, Vol. A28, No.3, 599-613(1993).
 9. 유명진, 정태명, 장경준, 높은 염분농도에서 탈질반응에 미치는 영향인자에 관한 연구(1), *대한환경공학회지*, 제21권, 제4호, 785-793(1999).
 10. Panswad, T. and Anan, C., Impact of high chlorine wastewater on an anaerobic/anoxic/aerobic process with and without inoculation of chloride acclimated seeds, *Water Research*, Vol. 33, No.5, 1165-1172(1999).