

연구논문

RO 농축수내 고농도 염분이 생물학적 폐수처리공정내 미생물 순응/배양에 미치는 영향평가

김연권 · 강석형

한국수자원공사 K-water연구원

(2012년 9월 3일 접수, 2012년 9월 21일 승인)

Evaluation of the Effect of High Salinity RO Concentrate on the Microbial Acclimation/Cultivation Characteristics in Biological Wastewater Treatment Process

Youn-Kwon Kim · Suk-Hyung Kang

K-water Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon, Korea

(Manuscript received 3 September 2012; accepted 21 September 2012)

Abstract

There are a lot of parameters affecting microbial acclimation/cultivation characteristics such as dynamic conditions, F/M ratio and substrate affinity. From the process control point of view, the effect of high salinity on the removal efficiencies of BOD and SS have been documented by few researchers. In this research, lab-scale CAS(Conventional Activated Sludge) process and modified A₂O(Anaerobic/Anoxic/Oxic) process were operated and monitored to evaluate the characteristics of microbial acclimation and cultivation under high salinity wastewater during the period of three weeks. As a result of acute microbial activity test(6hr) at various Cl⁻ concentration, the appropriate Cl⁻ concentration for microbial growth and acclimation ranged under 3,100 mg/l. As a result of acclimation/cultivation test, the trend of COD removal efficiency reduced gradually as time elapsed. It is considered that NH₄-N removal phenomenon of the conventional pollutants removal mechanisms gave little effect to the microbial acclimation/cultivation under high salinity wastewater.

Keywords : High salinity wastewater, RO concentrate, Microbial acclimation/cultivation

1. 서론

미생물을 이용한 하·폐수처리기술은 산업발달에 따른 발생폐수의 다양화와 함께 물리적·화학적 처리기술이 접목된 다양한 하·폐수처리 공법으로 발전되어 왔다. 그럼에도 불구하고 생물학적 하·폐수처리기술이 기술의 근간을 이루고 가장 큰 이유는 경제적, 안정적인 운전이 가능하다는 점에 있다 할 수 있다(Henze *et al.*, 2008). 그럼에도 불구하고 생물학적 하·폐수처리기술은 유입수의 특성에 따라 미생물이 악영향을 받을 경우, 처리효율의 악화는 물론 생물학적 하·폐수처리기술의 적용 자체가 불가능 할 수 있다는 단점을 가지고 있다. 특히, 독성물질의 유입, 유기물 부족 및 영양염류 부족과 같은 조건으로부터 자유로워야 정상적인 운전이 가능하다(김, 1997; 문, 2008).

최근 물 공급이 원활하지 못한 지역에서 원수공급을 위한 대안으로 역삼투 공정(RO, Reverse Osmosis)을 이용한 공업용수 공급계획들이 활발히 추진되고 있는데, 이들 공정에서 발생하는 RO 농축수는 새로운 문제로 대두되고 있다. RO 농축수는 높은 염분농도와 높은 질소농도를 나타내고 있으며, 미생물 성장에 필수적인 외부탄소원은 매우 낮은 농도로 존재한다(수자원공사, 2010). 미생물학적 관점에서 높은 염분농도와 미생물이 접촉시 세포액의 수분이 세포 밖으로 빠져나와 세포막에 밀착되어 있던 원형질이 세포막에서 떨어져 수축하는 원형질분리(Plasmolysis)현상이 일어나게 된다. 인지질(Phospholipids)로 구성된 세포벽을 갖고 있는 대부분의 미생물들은 이러한 삼투압충격을 받게 되면 미생물 활성화도가 저하되고, 결국 세포질 내 각종 이온과 핵산 등의 농축으로 인한 미생물 성장이 멈추게 된다. 이는 하수처리공정의 처리효율 악화는 물론 공정정상화를 어렵게 하는 주요 원인이 되며, 미생물의 세포벽 파괴로 인해 용출된 세포질 성분은 혼합액내 용해성 COD를 증가시킴으로서 겉보기 COD 제거율을 낮게 만든다. 이 외에도 SVI(Sludge Volume Index) 상승과 플러해체 등으로 인해 하·폐수처리장의 방류수질에 직접적인 악영

Table 1. Critical toxicity levels for microbial activity(김 등, 2011)

Species	Limit	Species	Limit
pH	5~9.5	Fe	100 mg/l
S	5~25 mg/l	Cu	1 mg/l
Cl ⁻	5,000~6,000 mg/l	Ni	1~6 mg/l
CN	1~1.6 mg/l	Zn	5~13 mg/l
HCHO	800 mg/l	Cr	2~10 mg/l
C ₆ H ₅ OH	250 mg/l	Cd	1~5 mg/l

향을 미치는 것으로 알려져 있다(김 등, 2007; 문, 2008). 활성슬러지 공법에서 미생물의 활성도에 영향을 주는 염분농도는 5,000 ~ 20,000 mg/l 정도로 보고되고 있으며, 고농도 염분에 순응된 활성슬러지는 6,000 mg/l 수준의 염분농도에서도 정상적인 처리효율을 나타내는 것으로 보고되고 있다(문, 2008; Belkin *et al.*, 1993; Smythe *et al.*, 1997). 김 등(2011)에 의한 연구에서는 고농도 염분이 고도하수처리(BNR; Biological Nutrient Removal) 공정에서 유기물 제거효율 저하에 미치는 악영향에 비해 질소와 인제거에 미치는 영향은 제한적인 것으로 보고하고 있다. 그럼에도 불구하고 고농도 염분함유 하·폐수처리를 위한 설계인자로서의 미생물 거동특성에 관한 연구결과는 빈약한 실정이다. 따라서 RO 농축수 처리나 해안가 고농도 염분함유 하·폐수처리를 위한 공정개발과 공법개량을 위해서는 고농도 염분함유 하·폐수를 기질로 하는 미생물 순응/배양특성 변화에 관한 연구결과 필수적이라 할 수 있다. 그러나 대부분의 기질변화에 따른 미생물 순응/배양특성에 관한 연구는 일반 가정하수 또는 합성폐수를 대상으로 보고되고 있다(송, 2003; Kim, 2003).

이에 본 연구는 고농도 염분을 함유하고 있는 실규모 RO 농축수와 인공합성폐수를 유입수로 이용하여 국내 가장 많이 보급되어 있는 표준활성슬러지(CAS; Conventional Activated Sludge) 공법과 BNR의 대표공법인 변형된 A₂O(Anaerobic/Anoxic/Oxic) 공법을 실험실 규모로 제작하여 염분농도 변화에 따른 미생물 활성도 변화특성과 순응/배양특성을 평가하였다.

II. 실험장치 및 방법

고농도 염분폐수에 의한 미생물 활성도 저해영향을 평가하기 위해 크게 두 단계의 평가가 수행되었다. 첫 번째로 5개의 Mode로 염분농도를 달리한 시료에 대해 종속영양미생물(*Heterotrophs*)과 독립영양미생물(*Autotrophs*)의 급성 미생물 활성도 평가가 수행되었다. 종속영양미생물의 활성도 평가를 위해서는 실험방법이 쉽고, 신뢰성 있으며, 빠른 결과를 보여주는 미생물 호흡율(OUR: Oxygen Uptake Rate, mg/l/hr) 측정법이 사용되어 왔다. OUR 실험에서 미생물 대사의 정상발현여부를 판단하기 위한 최대 OUR 생성을 위해, COD_{Cr} 50 mg/l 미만의 외부 탄소원을 주입하였다. 독립영양미생물의 활성도 평가를 위해서 외부탄소원이 배제된 시료에 NH₄-N를 주입하고 시간에 따른 제거추이를 분석하였다. 고농도 염분폐수에 의한 미생물 활성도 저해를 평가실험은 시간 간격으로 총 6시간 동안 평가되었으며, Blank 대비 각 Mode별 OUR 변화추이와 NH₄-N의 변화추이가 실험에 사용된 미생물농도로 나눈 후 정량비교 되었다.

두 번째로, 고농도 염분을 함유한 실규모 RO 공정의 농축수를 유입수로 이용하여 실험실 규모로 제작된 CAS와 A₂O 공법에 3주간 공급시 나타나는 유기물(COD_{Cr}) 제거특성과 암모니아성 질소제거율을 모니터링 하였다. 제거율은 측정일 유입수내 존재하는 해당 항목과 방류수질의 농도차를 기준으로

Table 2. Experimental conditions used in the salinity levels experiments

Samples	Species NH ₄ -N (mg/l)	Cl ⁻ (mg/l)	Cl ⁻ /VSS* (mg/g)
Blank	17.3	0	0
Mode A	21	3,112	508
Mode B	17.2	6,158	1,079
Mode C	22	9,293	2,395
Mode D	25.1	12,926	3,579
Mode E	24.5	19,469	9,655

* VSS(Volatile Suspended Solid)

Table 3. Characteristics of synthetic high-salinity wastewater
Unit : mg/L

Species	Concentration	Species	Concentration
COD _{Cr}	310 ± 20	TP	5 ± 2
TN	27 ± 6	PO ₄ -P	0 - 0.1
NH ₄ -N	15 ± 2	SS	-
NO ₃ -N	13 ± 4	Cl ⁻	2,700 ± 300

고농도 염분폐수에 대한 미생물 순응/배양특성을 평가하였다. 또한 반응조내 MLSS 변화를 측정하여 고농도 염분폐수로 인한 침강성 변화특성을 평가하였다. 실험에 사용된 유입수 조성은 다음 Table 3 과 같다. RO 공정의 농축수는 유기물과 기타 무기성분이 미생물의 성장에 부족할 수 있어 합성폐수 원액(Stock Solution)을 추가함으로써 염분농도가 높은 하·폐수성상을 조제하여 사용하였다(김, 2003).

실험에 사용된 CAS는 총 체류시간은 6시간으로 호기조 DO는 2.0 mg/l 이상을 유지했으며, 염분에



Fig. 1. Schematic of the CAS and modified A₂O process

의한 침강성 불량으로 예상되는 미생물 유실을 방지하고자 반응조내 미생물 농도를 7,000 mg/l 이상 유지하였고, 생물반응조의 용량보다 약 3배 큰 침전조를 제작/활용하였다. 변형된 A₂O 공법은 생물반응조의 총 수리학적 체류시간이 7시간이 되도록 유량을 주입하였으며, 각각 혐기(주) 혐기(AN, Anaerobic; 1hr), 무산소(ANOX, Anoxic; 2hr), 호기 1조(AE, Aerobic 1; 2hr)와 2조(AE, Aerobic 2; 2hr)로 운전하였고 미생물 농도는 4,500 mg/l 이 되도록 하였다.

III. 실험결과

1. 염분농도별 종속영양미생물과 독립영양미생물의 급성 미생물 활성도 평가

일반적으로 OUR과 SOUR(Specific Oxygen Uptake Rate, mg/g/hr)의 변화추이는 실험초기에 외부 탄소원의 활용으로 인한 성장단계의 높은 OUR과 SOUR 값이 나타내게 되고, 이후 외부 탄소원의 고갈로 인해 급격한 감소추이가 나타남과 함께 최종적으로 낮고 변화가 없는 내생호흡의 OUR과 SOUR이 나타내게 된다. 염분농도별 종속영양미생물과 독립영양미생물의 활성도 변화결과는 다음 Table 4와 같이 나타났다.

Blank와 Mode A의 실험초기 OUR과 SOUR은 각각 60 mg/l/hr와 13 mg/g/hr로 동일한 수준의 측정결과를 보였으나, 나머지 시료들은 실험초기부터 낮은 OUR과 SOUR 값을 보였다. 특히, Mode

D와 Mode E는 초기부터 내생호흡 수준의 OUR과 SOUR 값을 보였는데, 이는 해당 Mode의 염분농도가 미생물 기작의 급성저해작용을 유발한 결과로 해석할 수 있다. 외부 탄소원이 모두 소모된 3시간 이후에서의 Blank와 Mode A의 OUR과 SOUR은 각각 21 mg/l/hr와 4.9 mg/g/hr로 내생호흡수준에 도달한 것으로 판단되었으며, 이때의 수준은 나머지 Mode 유사한 것으로 사료되었다. 고농도 염분시료와 미생물이 혼합된 시료들에 대해 6시간 경과 후 측정된 SOUR 결과는 대부분의 시료가 초기 내생호흡율의 수준보다 다소 낮아진 것을 확인 할 수 있었고, 이는 고농도 염분이 미생물의 기초대사 작용 파괴나 사멸로 이어지고 있는 결과로 추정할 수 있다. NH₄-N 제거특성의 경우, 가장 낮은 염분농도를 나타내는 Mode A가 3시간까지 NH₄-N를 지속적으로 제거하며 Blank와 가장 유사한 추이를 보였다. 반면 나머지 시료들은 NH₄-N 제거기작이 발현되지 못한 것으로 판단되었으며, 고농도의 염분이 가장 직접적인 원인으로 추정되었다. 이상의 결과를 정리하면, 가장 낮은 염분농도특성을 갖는 Mode A 시료가 종속영양미생물과 독립영양미생물의 활성도 특성분석결과 Blank와 동일한 추이와 수준인 것으로 나타났다. 각 Mode별 실험결과 값을 Blank 값과 비교하여 %화 한 결과 그림 2와 같다. Mode A 수준의 염분농도에서 활성슬러지는 Blank와 동일한 활성도를 보여주었으나, 농도가 점진적으로 높아질수록 종속영양미생물과 독립영양미생물의 구분 없이 모두 악영향을 받는 것을 확인할 수 있다. 금번 실험에 사용된 미생물들이 고농도

Table 4. Comparison between the results of OUR and NH₄-N removal evaluation

Microbes	Heterotrophs						Autotrophs		
	OUR(mg/l/hr)			SOUR(mg/g/hr)			NH ₄ -N(mg/d)		
Index	0(hr)	3(hr)	6(hr)	0(hr)	3(hr)	6(hr)	0(hr)	3(hr)	6(hr)
Blank	60	21	19	12.5	4.9	4.4	17	3.7	3.8
Mode A	61	21	19	12.5	4.9	4.3	21	6.2	6.1
Mode B	37	18	10	6	2.3	2.1	17.2	16.5	16.2
Mode C	21	17	18	6	2.4	2	22.4	22	21.5
Mode D	18	12	9	4.9	4.7	4.5	25.1	25	24.9
Mode E	7	6.5	6	2.7	2.6	2.4	24.5	2.43	24.2

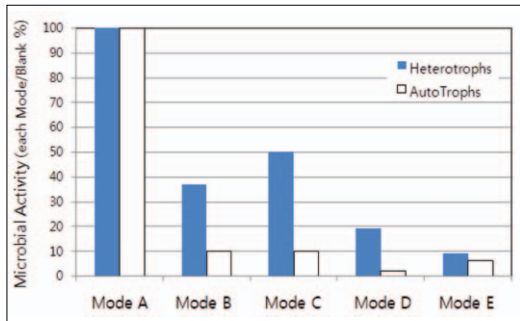


Fig. 2. The acute microbial activity test for each mode

염분에 대해 사전노출된 기회가 없었음에도 불구하고, 염분농도가 약 3,100 mg/l 수준까지는 활성도에 큰 악영향을 받지 않았음을 고려하면, 활성슬러지 공정내 미생물 활성도는 5,000 mg/l 이상의 농도에서 영향을 받는다는 기존의 결과(문, 2008; Belkin *et al.*, 1993; Smythe *et al.*, 1997)와 유사한 것으로 사료된다.

2. CAS와 변형된 A₂O 공법에서의 미생물 순응특성 평가

고농도 염분을 함유한 실규모 RO 공정의 농축수와 영양염류 성분을 혼합한 유입수로 실험실 규모의 CAS와 변형된 A₂O 공법에 3주간 공급하며 유기물(COD_{Cr}) 제거특성과 암모니아성 질소제거 특성 및 미생물 농도변화 특성을 모니터링 하였다. 3주간 실시된 미생물 순응/배양실험결과 다음 그림 3과 같은 결과를 얻을 수 있었다. 각 공법별 COD 제거율은 초기 95 %가 넘는 제거효율을 가졌으나 급속도로 감소하여 1주차 종료시점에서의 COD 제거율은 두 공법 모두 50 % 미만의 수준을 나타내었다. 이후 두 공법의 COD 제거율은 공통적으로 지속적인 감소추이를 나타냈고, 3주차 초기에 50 %에 근접하는 일시적 제거효율의 증가를 나타냈으나 이후 추가적인 감소추이를 나타내 실험종료시점에서의 COD 제거율은 약 20 % 수준인 것으로 나타났다. 3주간의 순응/배양실험에서 COD 제거율의 변화추이는 두 공법 모두 유사한 것으로 판단되었으나, 이와 같은 COD 제거율의 변동패턴이 전적으로 고농도 염분에 장기간 노출된 호기성 중속영양미생

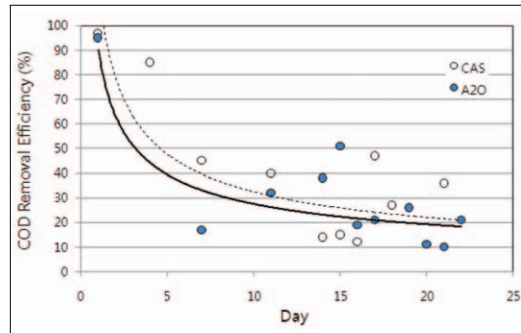


Fig. 3. The comparison of COD_{Cr} removal profiles for each process

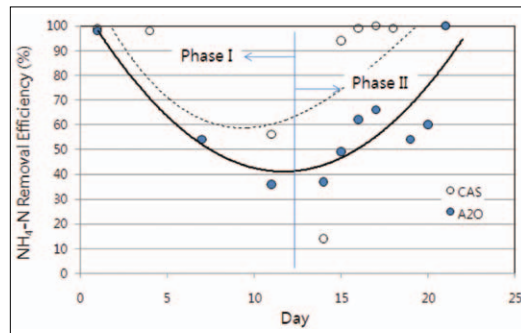


Fig. 4. The comparison of NH₄-N removal profiles for each process

물들의 사멸과 관련된 순응만의 결과인지, 공정내 미생물 침강성 불량에 따른 미생물 유실의 결과인지를 규정하기에는 분명치 않다. 다만 고농도 염분으로 인한 미생물 세포벽 파괴현상으로 용출된 용해성 COD의 증가가 방류수내 COD로 나타나면서 걸보기 COD 제거효율을 떨어뜨릴 수 있으나, 금번 미생물 순응/배양실험 조건이 미생물의 활성도에 영향을 미치는 Mode A 보다 낮은 조건임을 고려하면 미생물 유실의 효과가 더 지배적인 원인이었을 것으로 추정된다.

질산화의 지표가 되는 호기조건에서의 NH₄-N 제거율 변화는 그림 4에서 보는바와 같이, 두 단계(Phase)로 구분할 수 있다. Phase I은 공법과 상관없이 NH₄-N 제거율이 감소하는 단계로 초기 제거능에 50 % 수준까지 감소하는 특성을 갖는다. Phase II는 NH₄-N 제거율이 급속히 회복되는 단계로 3주차에 이르러 초기 제거효율과 유사한 수준으로 회복되는 것을 확인 할 수 있었다. 이때, CAS

공법의 NH₄-N 제거율 회복속도가 변형된 A₂O 공법에 비해 약 1주 빠른 것을 알 수 있었는데, 이러한 회복속도의 차이에는 두 공법의 운전조건 차이가 영향을 있었을 것으로 추정된다. CAS의 총 체류시간은 6시간으로 초기 MLSS 농도가 7,000 mg/l 이상 운전된 반면, 변형된 A₂O는 호기조 총 체류시간 4시간으로 초기 MLSS 농도가 4,500 mg/l로 운전되어 질산화 미생물 생존을 위한 호기조건 유지에 CAS 공법이 더 유리했을 것으로 판단된다. 또한 CAS의 MLSS가 변형된 A₂O에 비해 높아 MLSS내 존재하는 독립영양미생물의 절대량의 차이로 NH₄-N 제거율 회복속도의 차이가 나타난 것으로 추정되었다.

여기서 중요한 것은 종속영양미생물과 독립영양미생물들의 물질별 제거기작의 차이인 것을 알 수 있는데, 공법의 종류와 상관없이 유기물 제거기작은 시간경과에 따라 지속적으로 감소된 반면 질산화 기작은 시간경과에 따라 변화하고 회복한다는 점이다. 김 등(2011)에 의한 연구결과에 따르면, 염분폐수에 노출된 BNR에서의 질산화 박테리아의 개체수는 시간경과에 따라 증가하는 것으로 보고하고 있는 결과와 일치한다 할 수 있다. 고농도 염분의 영향으로 나타난 침강성 불량으로 반응조내 미생물 농도는 점차 감소하지만 MLSS 또는 VSS 내 실제 질산화 반응에 관여하는 Active Biomass의 분율이 변화하고 있음을 추정케 하는 결과이다.

3. 반응조내 미생물 농도변화특성 평가

CAS와 변형된 A₂O의 반응조내 미생물 농도변화 추이를 살펴보기 위해, 특정일에 각각의 호기조에서 미생물을 채취하여 MLSS 농도를 분석하였고, 그 결과는 다음 그림 5와 같다. MLSS는 COD와 NH₄-N 제거율 변화추이와는 달리 두 공법 모두 선행적인 감소추이를 보였다. CAS의 MLSS는 실험 초기 약 7,000 mg/l 수준이었으나, 3일 경과 후 약 6,700 mg/l 수준으로 큰 차이를 나타내지 않았다. 이 시기 CAS의 침전조내 미생물은 양호한 침강성을 보였고 처리수질 또한 매우 양호한 것으로 나타

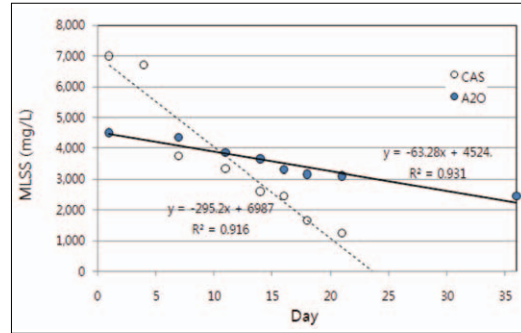


Fig. 5. The comparison of MLSS concentration for each process

났으나, 1주차 종료시점에서 급격한 침강불량 현상이 나타나기 시작했으며 반응조내 MLSS 감소와 슬러지 유실로 인한 처리수질의 악화가 확인 되었다. 2주차 후반부터 침강성의 일시적인 회복 양상이 관찰되었으나 반응조내 MLSS는 지속적으로 감소하였고, 3주차에서 반응조내의 MLSS는 약 1,250 mg/l로 CAS 운전을 위한 F/M 조건을 맞추기 어려워 실험을 종료했다. 변형된 A₂O는 CAS와 마찬가지로 시간경과에 따라 침전조내 침강성 악화와 슬러지 유실이 관측되었으나, CAS와는 달리 급격한 MLSS 감소 없이 지속적으로 감소되는 경향을 보였으며, 3주차에는 약 65 % 수준으로 5주차에는 약 54 % 수준의 MLSS 농도를 보였다.

이상의 결과는 기존 고농도 염분폐수에 노출된 활성슬러지는 SVI가 증가하고, 방류수내 SS 농도가 급격히 증가하는 것으로 보고되었는데(김, 2007; 문, 2008; 양, 2001), 이는 급변 순응/배양실험의 결과와 일치하는 것으로 판단된다. 따라서 고농도 염분을 함유한 하·폐수의 생물학적 처리를 위해서는 방류수내 증가되는 SS 제어전략이 반드시 수반되어야 할 필요가 있다.

IV. 결론

본 연구는 고농도 염분을 함유하고 있는 실규모 RO 농축수와 합성폐수를 이용하여 활성슬러지공정에서의 미생물 활성도와 염분농도와의 영향을 평가하였으며, 장기간 노출시 미생물 순응 및 배양특성에

대한 평가를 실시하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. OUR(SOUR)과 NH₄-N 제거율 비교실험을 통해 중속영양미생물과 독립영양미생물의 활성도에 미치는 염분농도의 영향을 평가한 결과, 혼합액 내 염분농도가 약 3,100 mg/l (500 mg/g VSS) 수준까지는 중속영양미생물과 독립영양미생물 모두에 대해 활성도에 악영향이 나타나지 않는 것으로 확인되었다.

2. Mode A의 범위에 해당하는 염분농도로 조제된 합성폐수를 이용하여 실험실 규모로 제작된 CAS와 변형된 A₂O 공법에 대해 3주간 평가된 COD 제거율은 초기 95 % 수준에서 최종 20 % 수준으로 급격히 감소됨을 확인 할 수 있었고, 침강성 불량으로 인한 슬러지 유실로 겉보기 COD 제거율은 더욱 악화된 것으로 나타났다.

3. 질산화의 지표가 되는 NH₄-N 제거율 변화실험에서 두 공법 모두 초기 100 %에 근접하는 처리 효율을 보였다가 2주차에 약 50 % 수준으로 낮아진 뒤 3주차에는 제거율이 원상태로 회복됨을 확인 할 수 있었고, 반응조내 MLSS가 감소되고 있음을 고려시 질산화 기작의 발현은 독립영양미생군내 Active Biomass의 분율증가에서 기인하는 것으로 추정되었다.

4. 고농도 염분폐수에 노출된 CAS와 변형된 A₂O 공법내 MLSS는 COD와 NH₄-N 제거율의 변화추이와는 달리 모두 선형적인 감소추이를 보였으며, 고농도 염분폐수에 장기간 노출될 경우 미생물 유실에 따른 정상운전이 어려운 것으로 나타나 고농도 염분함유 폐수처리를 위한 생물학적처리공정의 설계에는 멤브레인 공법과 같이 SS 제어전략이 가능한 공법설계가 반드시 필요한 것으로 판단되었다.

참고문헌

김상우, 1997, 생물학적 처리공정에서 Cu/Zn의 저해효과, 한양대학교 환경대학원, 석사학위논문.

김연권, 문용택, 김지연, 서인석, 2007, pH 조절을 통한 폐활성 슬러지의 COD 가용화 및 감량화, 상하수도학회지 21(5), 551-558.

김연권, 서인석, 김지연, 문용택, 2011, 생물학적 하수처리공정을 이용한 RO 농축수 처리 가능성 평가, 한국수처리학회지 19(5), 23-30.

김연권, 신응배, 김백중, 김형진, 2003, EBPR 공정 미생물을 이용한 혐기성 조건에서의 기질 제거 현상비교, 대한토목학회지 23(1B), 39-45.

문명환, 2008, 화학공장 폐수의 생물학적 처리시 염분농도의 영향, 전북대학교 환경대학원, 석사학위 논문.

송한, 신응배, 배우근, 2003, BNR 시스템 적용을 위한 미생물 순응/배양 특성, 대한환경공학회지, 25(10), 1218.

한국수자원공사, 2010, 원수수질을 고려한 역삼투 공정 최적설계 및 운영 가이드라인 도출 연구보고서.

Kim Y. K., 2003, Respirometric monitoring of a microbial behavioral characteristics change through the retrofitting process, Ph. D. Thesis, Hanyang University.

G. Smythe, G. Matelli, M. Bradford and C. Recha, 1997, Biological Treatment of Salty Wastewater, Environmental Progress, 16(3), 179-183.

M. Henze, M.C.M van Loosdrecht, G. A. Ekama, D. Brdjanovic, 2008, Biological Wastewater Treatment; Principles, Modelling and Design, IWA.

S. Belkin, A. Brenner and A. Abeliovich, 1993, Biological Treatment of a High Salinity Chemical Industrial Wastewater, Wat. Sci. and Tech., 27(7), 105-112.

양창욱, 2001, 활성슬러지공법에서 염분농도의 영향, 안양대학교, 석사학위 논문.