

RBC와 점감포기조의 복합구성에 따른 유가공폐수 처리에 관한 연구

이상호^{1*}

Treatment of Dairy Wastewater by the Combination of RBC and tapered Aeration

Sang-Ho Lee^{1*}

요 약 고농도 유가공폐수의 유기물 및 질소, 인의 제거효율을 비교하기 위하여 두 개의 반응 시스템을 구성하였다. 하나는 하나의 RBC 반응조와 3단 점감포기조로 구성된 시스템이며 다른 하나는 RBC 반응조 2개를 연속으로 구성하고 3단 점감포기조로 구성된 시스템이다. 본 연구에 적용한 바실러스 미생물은 RBC의 끈상미생물접촉체에 부착하여 수행하였다. 각 시스템으로 유입되는 유가공폐수의 BOD 평균농도는 988mg/L, 1,046mg/L이었으며, 유출수 BOD 농도는 21.4mg/L, 15.9mg/L로 제거율은 97.8%, 98.5%의 결과를 보였다. RBC 단일공정 유입수의 평균 COD_{Cr} 농도는 1,837mg/L, 유출수는 53.0mg/L로 96.7%의 제거 효율을 보였으며 RBC 연속공정 유입수의 평균 COD_{Cr} 농도는 1,852mg/L, 유출수는 평균 27.8mg/L로 98.5%의 제거효율을 보였다. 유입수 T-N 분석결과 RBC 단일공정은 평균 51.9mg/L로 측정되었고, RBC 연속반응공정에서의 유입수 평균은 54.3mg/L이었으며, 유출수는 각각 6.6mg/L, 4.7mg/L로 87.2%, 91.3%의 제거효율을 보였다. T-P에 대한 RBC 단일공정과 RBC 연속공정에서의 분석 결과 유입수 평균농도는 각각 8.9mg/L, 9.1mg/L로 측정되었고, 유출수 농도는 1.6mg/L, 1.0mg/L로 T-P 제거율은 82%, 89%로 나타났다.

Abstract The treatment efficiency of rotating biological contactors (RBCs) for the high strength of dairy wastewater was investigated. Two different systems were conducted composing of a single RBC with tapered aeration reactors for the system A and a sequential RBCs following tapered aeration reactors for the system B. Experiments using dairy wastewater were conducted for 50 days period of time, in which hydraulic rates were maintained at the constant ratios of 346L per day and variable BOD concentrations were at the range from 1,358mg/L to 829mg/L, the COD_{Cr} concentration of the range were from 2,384mg/L to 1,329mg/L, the range of T-N concentrations was from 66mg/L to 38mg/L, and 50% of internal recycle and 50% of sludge return were performed. Results indicated that the removal efficiencies of the system B were higher than those of the system A. The removal efficiencies of system A for the BOD, COD_{Cr}, T-N and T-P were 97.8%, 96.7%, 87.2% and 82%, respectively. The removal efficiencies of system B for the BOD, COD_{Cr}, T-N and T-P were as of 98.5%, 98.5%, 91.3% and 89%.

Key Words : Sequential RBC Process, high strength of dairy wastewater, removal of organics and nutrients, *Bacillus sp.*

1. 서론

최근까지 하수 및 산업폐수처리는 유기물 및 부유 물질 제거에 관심을 두고 연구를 하였지만 최근 산업이 발달함에 따라 유가공폐수를 비롯하여 고농도 폐수 발생이

증가하고 있다. 이에 따라 점진적으로 하수처리장의 방류수 수질 기준이 강화되면서 질소, 인에 대해 과거에는 T-N 60mg/L, T-P 8mg/L로 규제되고 있었으나 2008년 1월 1일부터 T-N 40mg/L, T-P 4mg/L, 2013년 1월 1일부터 T-N 20mg/L, T-P 2mg로 규제가 강화될 예정이다.

본 논문은 상명대학교 교내선발과제 연구비 지원에 의하여 수행되었음

¹상명대학교 환경공학과
접수일 08년 10월 07일

수정일 08년 12월 03일

*교신저자 : 이상호(leesh@smu.ac.kr)
계재확정일 08년 12월 16일

이러한 추세에 따라 최근에는 유기물질은 물론 질소, 인 등의 영양염류를 동시에 제거할 수 있는 *Bacillus sp.*를 이용한 고농도 산업폐수 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]. *Bacillus sp.* 미생물은 단균 형태와 열악한 환경에서도 포자를 만드는 그람양성 통성 혐기성 세균이다[2]. 기존의 *Bacillus sp.*는 분뇨 및 하수처리를 위한 미생물로 이용되어 왔으며 부착미생물법에 *Bacillus sp.* 우점화를 이용하여 하·폐수를 처리 할 경우 유량변동 및 유기물 부하에 적응력이 뛰어나 날 뿐만 아니라 가수분해 효소에 의하여 유기물 제거 효율도 높고 악취문제를 해결하는 장점이 있다. 또한 슬러지의 침강성을 향상 시킬 뿐만 아니라 발생량이 적고 탈수 효율도 양호하다. *Bacillus sp.*를 이용하는 대표적인 공법은 B3(Bio Best Bacillus)와 망상형 회전식 바실러스 접촉장치(Rotating Activated Bacillus Contactor, RABC) 공법이 활발히 연구 중에 있다[3]. 이 방법은 생물반응조 내 *Bacillus sp.*를 선택 배양하여 우점화하고 포자화하여 유기물 및 질소·인을 제거시킨다[4].

질소를 제거 하는 일반적인 방법은 물리·화학적 방법인 암모니아 탈기, 이온교환 등과 유기물과 무기물 형태로 존재하는 질소원 중에서 암모니아가 질산화 미생물에 의해 질산화 과정을 거친 후 탈질 미생물에 의해 질소가스 형태로 변환되어 제거하는 방법이 있다[5]. 이를 바탕으로 반응조 내에 여재 부착 미생물을 성장시켜 생물막을 형성하도록 하여 질소를 제거 하는 방법인 침적여상, 살수여상, 회전원판법(RBC)등의 생물막 공법이 이용되어 진다[6]. 이 중 회전원판법은 미생물을 반응조에 부착하여 부착성장 시키는 공법으로 SRT를 비교적 길게 유지시킬 수 있기 때문에 미생물을 우점화 시킬 수 있다. 이에 따라 높은 처리효율을 기대할 수 있으며 부하변동에 강하고 적은 슬러지의 발생으로 운전관리가 용이한 장점이 있다[7][8].

본 연구에서는 나선형 끈상미생물접촉체에 *Bacillus sp.*균을 부착한 회전원판법을 이용하였다. 이 방법은 미생물 부착공정에서 활발히 진행되고 있는 연구이며, 공정 내 미생물의 유실이 적어 미생물을 고농도로 유지할 수 있다. 운전이 용이한 *Beacillus sp.*를 부착시킨 회전원판법의 하·폐수의 유기물 및 질소·인의 제거효율 최적화 하기 위해 미생물 반응조를 1개로 하여 운전하였을 경우와 2개를 연속으로 운전하였을 경우를 나누어 제거효율의 차이를 비교하였다.

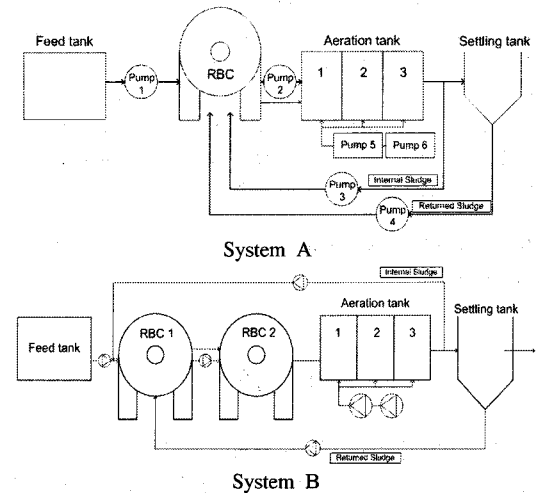
2. 실험장치 및 방법

2.1 실험장치

본 연구의 반응기 구성은 저류조, RBC반응조, 점감포기로 운전되는 3개의 점감포기조, 침전조의 세 부분으로 구성되며 [그림 1]과 같이 1개의 RBC 반응조(A조건)를 두어 운전한 시스템과 [그림 2]와 같이 2개의 RBC 반응조를 연속으로 연결하여 연속 RBC (B조건) 시스템으로 운전을 실행하였다.

저류조는 FRP재질로써 용량은 1m³으로 유기공 제품 생산 공정에서 발생하는 고농도 폐수를 포집하여 반응조에 공급하기 위해 설치하였다. 저류조 외의 모든 부분은 투명 아크릴 재질을 사용하여 반응기를 구성하였으며 RBC의 경우 유효용적은 43L로 하였고 회전원판은 Φ 55cm의 크기로 아크릴 재질로 제작하였다. 미생물 부착을 위하여 나선형 끈상미생물접촉체를 설치하였고 원판면적의 약 45%를 침적시켜 반응기를 운전하였다. 포기조는 각 단의 용적을 70L로 제작하였으며 2, 3단에서는 점감포기로 인해 슬러지의 침강을 방지하고 MLSS의 일정한 혼합을 위해 교반기를 설치하여 20RPM으로 운전하였다.

유입원수를 RBC에 공급하고, 내부반송과 슬러지반송을 위해 정량펌프를(Masterflex社) 사용하였다. 원수 유입과 반송을 위한 펌프이외의 공정은 자연유하로 운전하였으나 RBC반응조에서 포기조로 연결된 펌프의 경우는 RBC에서 포기조 1단으로 율류되는데 있어서 RBC 출구 막힘 현상을 방지하기 위하여 설치하였다. 포기조 공기공급은 전기적 과부하를 방지하기 위하여 Air pump(GAST社) 2대를 연결하여 순차적으로 사용하였다.



[그림 1] 1개의 RBC와 3단 점감포기조 및 침전조로 구성된 모식도(System A)와 연속 2개의 RBC와 3단 점감포기조 및 침전조로 구성된 모식도 (System B)

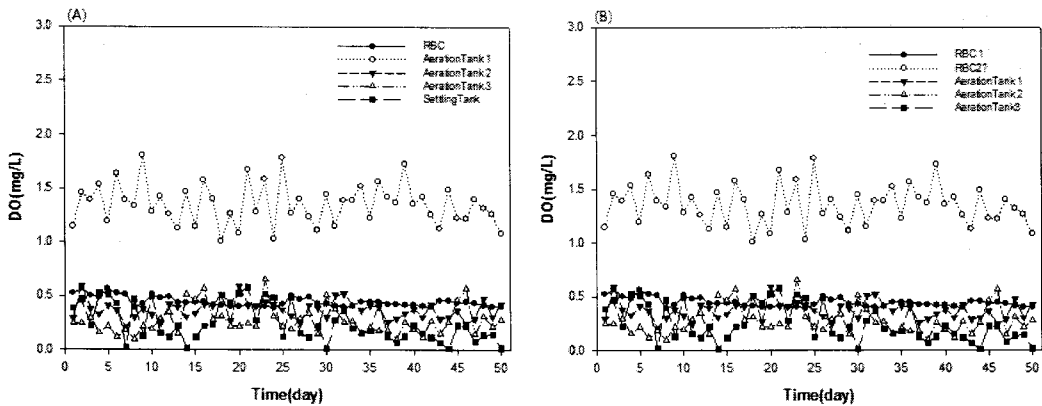
2.2 실험방법

실험에 사용한 원수는 'Y'사의 유가공폐수로서 120L/d의 원수를 주입하였고 RBC 반응조의 끈상미생물접착재에 *Bacillus sp.* 미생물로 우점화가 확인된 'W'시 분뇨처리장 포기조의 MLSS를 식종하여 20일간의 원수에 적응하는 기간인 안정화 기간을 두었다. 유입원수농도에 대한 유출수에 대한 제거효율이 점진적으로 증가하여 일정한 목표수질에 근접하였을 때를 정상화 상태로 판단하고 실험을 실행하였다. 각 항목의 수질 분석 횟수는 1일 1회를 원칙으로 하였다. 포기조 각 단의 용존산소는 Air Pump(Gast社)를 이용하여 포기조 1, 2, 3단에 공급하였고 점감포기법을 실시하여 각각의 DO 농도는 1단 1.1~1.8mg/L, 2단 0.2~0.5mg/L, 3단 0.2~0.4mg/L로 운전하였다. 수질분석은 각 공정별 DO, MLSS를 측정하였고 유입수와 유출수에 대하여 BOD, CODcr, T-N 그리고 T-P 항목은 Standard Method[9]에 기초하여 분석하였다.

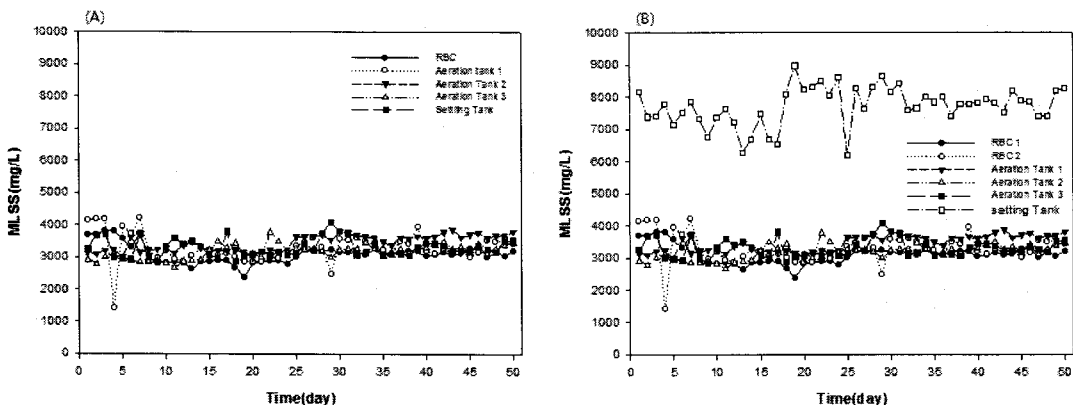
3. 실험결과

3.1 각 공정별 DO, MLSS 변화

각 단위 공정별 DO의 변화를 [그림 2]에 나타내었다. 단일 RBC반응조(A)로 운전하였을 때 RBC의 DO는 평균적으로 0.45mg/L 정도로 측정되었고, 점감포기조 1단 1.35mg/L, 포기조 2단 0.37mg/L, 포기조 3단 0.27mg/L로 측정되었다. 2개의 RBC 연속반응조(B)에 대하여 RBC 1의 DO는 평균 0.43mg/L, RBC 2는 0.42mg/L, 점감포기조 1단 1.39 mg/L, 포기조 2단 0.39mg/L, 포기조 3단 0.24mg/L로 나타났다. MLSS의 경우 RBC공정 (A)에서의 각 공정별 MLSS는 RBC 3,102mg/L, 점감포기조 1단 3,448mg/L, 2단 3,160mg/L, 3단 3,294mg/L로 유지되었으며, 침전조에서 RBC로 유입되는 반송슬러지는 평균 7,721mg/L로 측정되었다. 2개의 RBC 연속반응공정인 (B)의 경우 평균 MLSS는 RBC 1조 3,136mg/L, 2조



[그림 2] 단일 RBC 반응조 및 점감포기조 시스템 A와 2개의 RBC 연속반응조 및 점감포기조 시스템 B에 대한 운전 기간 중 용존산소 농도변화



[그림 3] 시스템 A와 시스템 B에 대한 각 반응조의 MLSS 농도변화

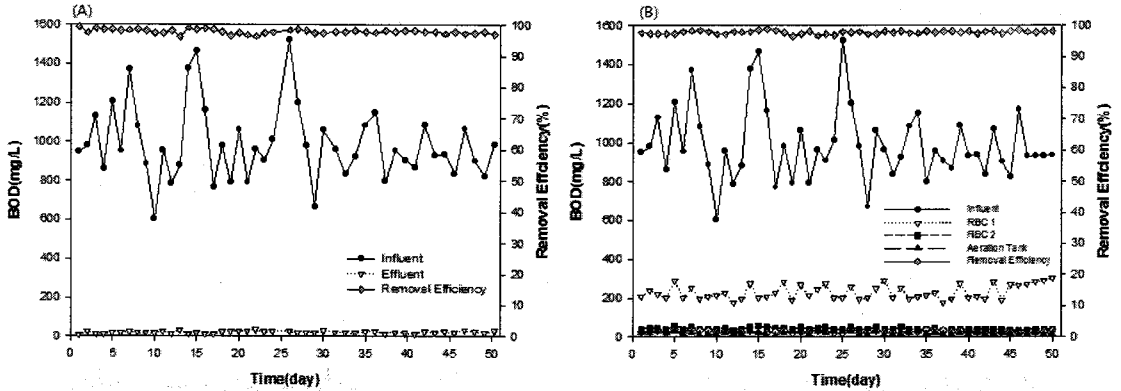
3,154mg/L로 RBC 1조와 2조의 MLSS는 [그림 3]과 같이 크게 차이를 보이지 않았다. 포기조 1단에서는 3,532mg/L로 측정되었고 2단은 3,291mg/L, 3단은 3,298mg/L로 나타났고 반응슬러지는 7,965mg/L로 측정되었다.

3.2 운전경과일수에 대한 BOD, COD_{Cr} 제거율 변화

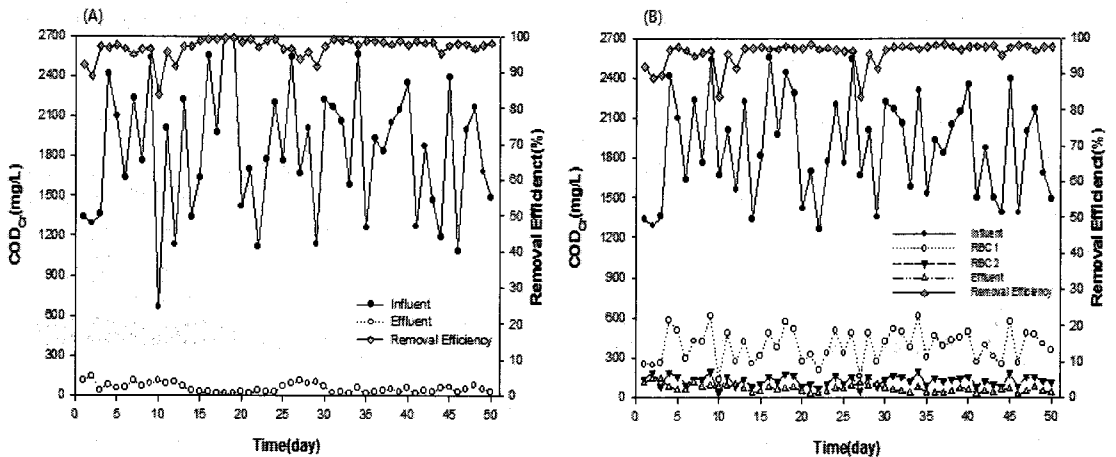
정상상태에서 유입수에 대한 유출수의 BOD 변화를 [그림 4]에 나타내었다. 단일 RBC공정 (A)에서 BOD는 평균 988mg/L, 최대 1,522mg/L, 최소 602mg/L로 유입되었고, 이 기간 동안의 유출수 평균 농도는 21.4mg/L로 97.8%의 제거율을 나타내었다. 2개의 RBC 연속반응조 (B)의 BOD는 평균 1,046mg/L, 최대 1,358mg/L, 최소

829mg/L로 유입되었고 유출수 평균 농도는 15.9mg/L, 제거효율이 98.5%로 RBC 단일공정보다 BOD 제거율이 높게 나타났다.

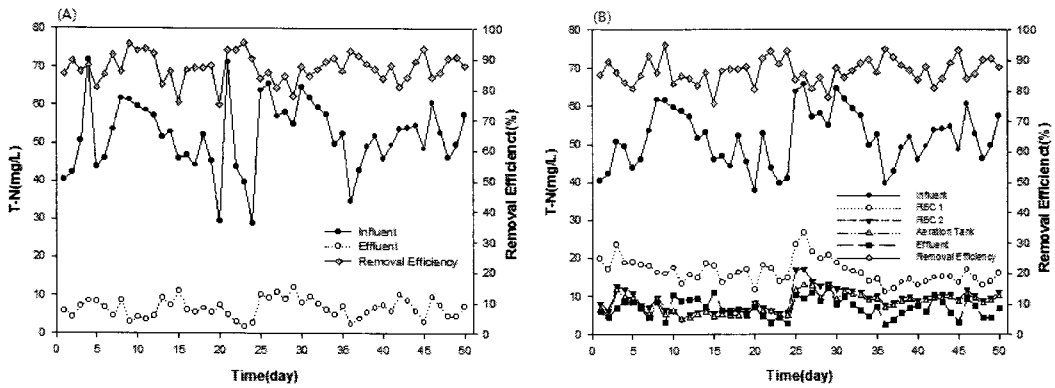
COD_{Cr} 변화 결과는 [그림 5]와 같다. RBC 단일반응조(A)의 경우 유입페수의 COD_{Cr} 평균농도는 1,837mg/L, 최대 2,850mg/L, 최소 669mg/L로 유입되었고, 이 기간 동안의 유출수 평균 농도는 53.0mg/L로 96.7%의 제거율을 나타내었다. (B)의 조건인 2개의 RBC 연속반응공정에서는 COD_{Cr}은 평균 1,852mg/L, 최대 2,384mg/L, 최소 1,329mg/L로 유입되었고 유출수 평균 농도는 27.8mg/L로 98.5%의 제거율을 보였다.



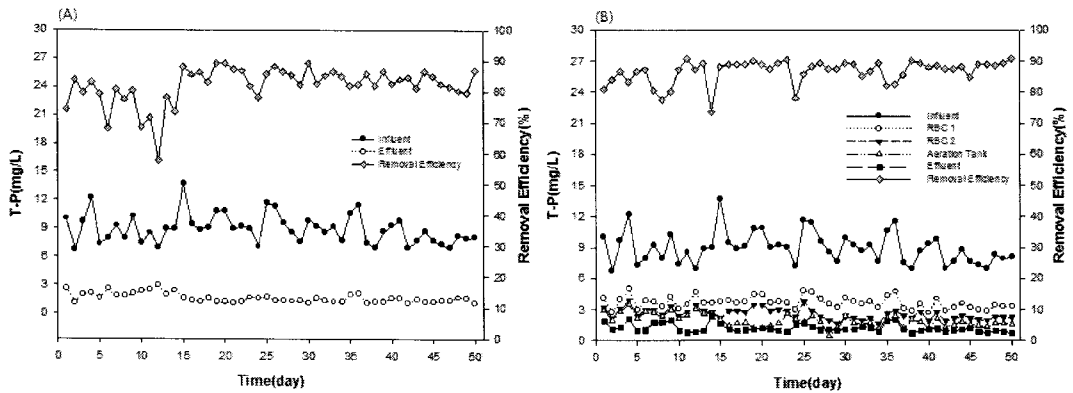
[그림 4] 운전 기간 중 시스템 A와 시스템 B의 유입수에 대한 BOD 농도 및 각 반응조의 유출수의 BOD 농도 변화 및 처리효율 변화



[그림 5] 시스템 A와 시스템 B의 유입수에 대한 COD_{Cr} 농도와 운전기간 중 RBC와 각 점검포기조의 반응조에 대한 유출수의 COD_{Cr} 농도 변화 및 제거효율 변화



[그림 6] 운전 기간 중 System A와 System B의 유입수 T-N 농도와 각 반응조의 유출수 T-N 농도 변화 및 처리효율 변화



[그림 7] 고농도 유가공 폐수 처리를 위한 시스템 A와 시스템 B의 유입수 T-P 농도와 각 반응조의 유출수 T-P 농도 및 처리효율 변화

3.2 운전경과일수에 대한 T-N, T-P 제거율 변화

정상상태의 조건에서 유입에 대한 유출수 T-N의 변화를 [그림 6]에 나타내었다. 조건(A)인 RBC단일반응공정의 T-N에 대한 유입수는 평균 51.9mg/L로 최대 71.8mg/L, 최소 28.9mg/L로 측정 되었으며, 유출은 평균 6.6mg/L로 이에 대해 제거율은 87.2%를 보였다. 2개의 RBC 연속반응공정의 유입수 T-N 평균은 54.3mg/L, 최대 65.7mg/L, 최소 34.7mg/L로 측정되었고 유출은 4.7mg/L로 91.3%의 제거율을 보였다.

유입수와 유출수의 T-P의 농도 변화를 [그림 7]에 나타내었다. RBC단일반응(A)에 대한 분석기간 동안 T-P는 최대 13.7mg/L, 최소 6.7mg/L, 평균 8.9mg/L로 유입되었고, 평균 1.6mg/L로 유출되었고 이에 대한 제거율은 82%를 보였다. 2개의 RBC 연속반응공정에서는 평균 9.1mg/L, 최대 13.3mg/L, 최소 7.1mg/L로 유입되었고 평

균 1.0mg/L로 유출되었다. 이에 대한 제거율은 88.7%를 보였다.

4. 결론

Bacillus sp. 미생물을 이용하여 고농도 유가공폐수에 대한 유기물 및 질소, 인의 제거효율을 비교하기 위하여 단일 RBC반응공정, 점감포기조로 구성된 시스템과 2개의 RBC 연속반응공정, 점감포기조로 구성된 시스템을 이용하여 수행한 본 연구에 대한 결론은 다음과 같다.

1. 본 실험에서 RBC 단일반응공정과 2개의 RBC 연속반응공정에서의 유입에 대한 유출수의 BOD를 측정한 결과 각각 유입수의 BOD 평균은 988mg/L, 1,046mg/L로 나타났으며 이에 따른 유출수의 BOD는 21.4mg/L, 15.9mg/L로 제거율은 97.8%, 98.5%

의 결과를 보였다.

2. 정상상태에서의 COD_{Cr}를 비교하여 보면 RBC 단일 반응공정에서 유입수의 평균 농도는 1,837mg/L, 유출수는 53.0mg/L로 96.7%의 제거 효율을 보였으며 2개의 RBC 연속반응공정에서는 유입수의 평균 1,852mg/L에 대한 평균 유출수 농도는 27.8mg/L로 98.5%의 결과를 보였다.
3. 정상상태 조건에서 유입에 대한 유출수 T-N 분석결과 RBC 단일반응공정에서 유입수는 평균 51.9mg/L로 측정되었고, 2개의 RBC 연속반응공정에서의 유입수 평균은 54.3mg/L로 이에 따른 유출수의 변화는 각각 6.6mg/L, 4.7mg/L로 87.2%, 91.3%의 제거 효율을 보였다.
4. T-P에 대한 RBC 단일반응공정과 2개의 RBC 연속반응공정에서의 분석 결과 유입수의 평균은 각각 8.9mg/L, 9.1mg/L로 측정되었고, 이에 따른 유출수의 농도는 1.6mg/L, 1.0mg/L로 T-P의 제거율은 82%, 89%로 나타났다.
5. 따라서 바실러스 미생물을 끈상미생물접촉재에 부착시켜 고농도 유기성 산업폐수를 처리함에 있어서 처리효율을 향상시키기 위하여 RBC 단일공정 결과보다 2개의 RBC 연속공정을 채택함으로써 우월한 처리효율을 얻을 수 있었다.

참고문헌

- [1] 김성연, "고농도 식품산업폐수에 대한 실험실규모 RBC의 처리능평가", 대한환경공학회지 pp.1667 ~ 1671, 2006.
- [2] 엄태규, 한동엽, 김부길, "B3 Pilot plant를 이용한 고농도 질소부하에서의 고도처리에 관한 연구", 한국환경과학회지, 제 14권 제 8호, pp. 771 ~ 775, 2005.
- [3] 권용웅, 박달준, 정일호, "B3공법을 이용한 하폐수 처리장의 적용사례에 관한 연구", 대한상하수도협회 한국물환경학회 공동추계학술발표회 논문집, pp. 123 ~ 126, 2001.
- [4] 이철희, 윤용식, 이병호, 성기문 "망상형 회전미생물 접촉조와 생물반응조를 이용한 축산폐수 처리(RABC Process)", 대한상하수도협회 한국물환경학회 공동추계학술발표회 논문집, pF13 ~ F15, 2003.
- [5] 최명섭, 손인식, "무산소-RBC 공정을 이용한 유기물질 및 질소제거", 대한환경공학회지, pp. 514~521, 2004.
- [6] 최명섭, 손인식, "RBC 반응조를 이용한 2단 A/O 공정에서 유기물질 및 질소 제거" 한국환경위생학회지,

Vol. 29, No 3. pp. 59 ~ 64, 2003

- [7] 엄태규, 한동엽, "Bacillus sp.를 이용한 SBR의 HRT에 따른 유기물질 및 N, P의 제거특성", 한국수처리학회지, 제13권, 제3호, 2005
- [8] 김영규, 조덕희, 이병노, "무산소·호기공정에서 철을 이용한 하수의 질소·인 고도처리기술 (FNR Process)", 환경정보, 제28권 제362호, 2006
- [9] APHA, AWWA, WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater 18th Ed., APHA, AWWA, WEF, 1992.

이 상 호(Sang-Ho Lee)

[정회원]



- 1982년 2월 : 경북대학교 공업학과 (공학사)
- 1988년 7월 : University of Delaware 토목환경공학과 (공학석사)
- 1993년 1월 : University of Delaware 토목환경공학과(공학박사)
- 1997년 9월 ~ 현재 : 상명대학교 환경공학과 교수

<관심분야>

하수고도처리, 난분해성 산업폐수처리