

2단간헐폭기 및 유로변경 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 이용한 도시하수 처리

원성연 · 민경국 · 이상일
충북대학교 환경공학과

Performances of Intermittently Aerated and Dynamic Flow Activated Sludge Process

Seung-Yeon Weon · Kyung-Kook Min · Sang-Il Lee

Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University, cheong-ju, Korea

Abstract

Removal of nitrogen and phosphate in wastewater is concerned to important for the prevention of eutrophication in receiving water and lake. Conventional activated sludge system designed for organics removal can be retrofitted only by modification of aeration basin to maintain anaerobic and aerobic state. Biological nutrient removal processes(BNR) such as Bardenpho, A²/O, UCT, VIP were generally used for the treatment of wastewater. However these BNR processes used in large scale WWTP were not suitable in small scale WWTP(i.e., package type WWTP) due to relatively large fluctuation of flow rate and concentration of pollutants.

The purpose of this research was to develop the compact, effective and economical package type WWTP for the removals of carbon and nitrogen in small scale wastewater. Intermittently aerated activated sludge system(LAAS) and intermittently aerated dynamic flow activated sludge system(IADFAS) were investigated for removal of nitrogen in both domestic wastewater. Bardenpho process was also evaluated. Nitrogen removal of LAAS, IADFAS, Bardenpho were 75, 77 and 67%, respectively.

I. 서론

질소와 인과 같은 영양염류 물질은 하천이나 호소로 유입시 부영양화를 일으키는 주원인물질로 이의 적절한 처리가 수질관리 측면에 매우 중요하다. 우리나라에서는 생물학적 처리방법으로 활성슬러지가 많이 이용되고 있다. 하지만 영양염류의

처리를 위해서는 처리시설을 보완 및 개조하거나 신공정으로 대체가 시급히 요망되고 있는 실정이다. 질소와 인을 동시처리하기 위해 널리 이용되고 있는 A²/O, Bardenpho, UCT, VIP등은 각각 반응을 호기와 혐기로 구분되어 Steady-state 개념으로 운영된다.^{1,2,3,4,5)} 일반적으로 질소를 처리하는데 요구되는 질산화 반응은 탈질반응보다 비교적 오래

걸리기 때문에 선진 외국에서 널리 이용되고 있는 위의 공정들은 호기 반응조가 비교적 크며 전탈질 공정과 같이 폐수중의 유기물을 전자 공여체로 이용할 경우는 후속된 호기 반응조에서 혐기 반응조로 내적 순환을 하여야 함으로 Energy가 많이들며 Steady-state개념으로 운영됨에 따라 유입유량의 변동에 약한 단점이 지적되고 있다. 몇몇 연구자들은 영양염류를 처리하기 위해 Fill and draw형태의 반응조 및 Oxidation ditch process에서 폭기 방식을 조정함으로써 영양염류를 제거할 수 있음을 보고하고 있다.^{6,7,8)}

본 연구에서는 도시하수의 유기물 및 영양염류를 제거하기 위해 기존의 활성슬러지 시스템에 쉽게 적용할 수 있으며 Dynamic-state로 운영되는 2단 간헐폭기 및 유로변경 간헐폭기 활성슬러지 시스템을 Bardenpho Process와 비교 운영하였다. 이때 유입수는 성상(C/N비 및 독성)이 다른 2개 소의 생활오수를 대상으로 하였다.

II. 실험 장치 및 방법

1. 실험장치

1.1. 2단 간헐폭기 활성슬러지 시스템

본 연구에서 사용된 2단 간헐폭기 활성슬러지 시스템은 기존의 24시간 폭기 형태의 활성슬러지 시스템을 2단으로 하여 한 개의 반응조내에서 간헐적인 폭기 형태로 운영되는 시스템이다. 실험장치는 Fig. 1.과 같이 순환기조 및 제 1, 2반응조로 구성되어 있다. 순환기조의 용량은 4L이고 제 1 및 2반응조는 각각 9.8L용량으로 사각형 아크릴 수지로 제작하였다. 폐수의 유입과 슬러지 반송은 Peristaltic pump를 이용하여 정량적으로 주입하였으며 슬러지 반송은 유입량과 같은 100%로 하였다. 공기주입은 Air pump에 Solenoid valve를 Timer에 연결하여 폭기 및 비폭기를 조정하였다. 비폭기시 반응조내 유입수 및 슬러지의 원활한 혼합을 위해 paddle을 설치하여 AC motor로(60rpm) 회전시켜 주었다. 폭기시 반응조내 과산화 및 DO농도의 강하를 막기 위해 공기 유입부에 Flow-meter를 설치하였고 DO는 3~4ppm을 유지하도록 하였다. 폭기 및 비폭기

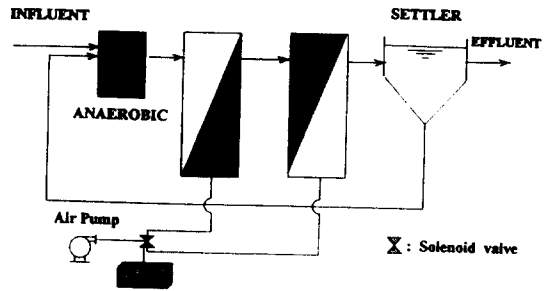


Fig. 1. Schematic diagram of intermittently aerated two-stage activated sludge system.

시간의 주기는 1시간/1시간으로 하여 제 1 및 제 2 반응조가 번갈아가며 폭기시켜 주었다. 따라서 제 1반응조가 폭기면 제 2반응조는 비폭기, 제 2반응조가 폭기면 제 1반응조는 비폭기로 운영하였다. 반응조의 SRT는 15day, HRT는 12hr로하였다.

1.2. 유로변경 간헐폭기 활성슬러지 시스템

유로변경 간헐폭기 활성슬러지 시스템은 순환기조 및 3개의 간헐폭기 반응조로 구성되어 있다.(Fig. 2.) 반응조의 용량 및 슬러지 반송 등은 2단 간헐폭기 반응조와 같게 하였다. 제 1 및 제 2반응조는 병렬로 연결되어 있고 유입수의 흐름은 번갈아가며 흐르도록 하였다. 이때 유로변경 시간은 2시간을 주기로 Mode A와 B를 번갈아가며 운영하였다. 이때 제 1 및 제 2반응조중 유로가 흐를 경우는 비폭기로 운영되도록 하였다. 따라서 제 1 및 제 2반응조의 폭기 및 비폭기 시간은 2시간씩이며 유로의 흐름이 없는 경우에는 폭기 상태의 회분식으로 운영되었다. 침전조 앞에 위치한 제 3반응조의 폭기 및 비폭기 시간은 1시간/1시간으로 운영하였다. 반응조의 SRT 및 HRT는 15day, 12hr로 2단 간헐폭기와 같게 하였다.

1.3. 4단 바덴포 시스템

4단 바덴포 공정은 4개의 반응조로 구성되어 있다.(Fig. 3.) 제 1 및 제 3반응조는 연속 비폭기 형태이며 제 2 및 제 4반응조는 폭기로 운영하였다. 제 1 및 3반응조의 용량은 각각 4L이며, 제 2

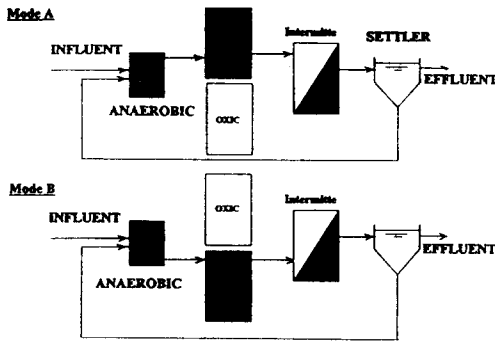


Fig. 2. Schematic diagram of intermittently aerated dynamic flow activated sludge system.

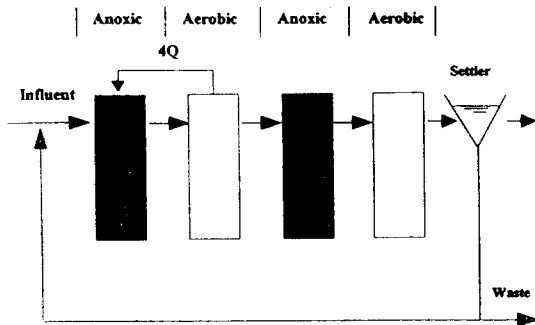


Fig. 3. Schematic diagram of 4-stage Bardenpho system.

및 4번 반응조는 각각 10, 1L로서 전체 용량은 19L로 하였다. 슬러지 반응은 유입유량의 100%로 해주었고 제 2반응조에서 제 1반응조로의 내부순환은 400%로 하였다. 반응조의 SRT는 15day, HRT는 12hr로 2단 간헐폭기와 같게 하였다.

2. 실험방법

2.1. 단계별 유입수 성상

본실험은 유입원수의 C/N비 및 성상이 다른 생활오수를 이용하였으며, 단계별 유입수의 성상은 Table 1.과 같다. 1단계 실험 유입수는 정화조가 없는 폐수로서 유기물이 충분하여 C/N비율이 10 이었고 독성이 거의 없는 오수로 간주된다. 2단계 유입수는 정화조가 있는 생활오수(기숙사)로 유기물이 상대적으로 낮아 C/N비율이 6.7이었고 독성이 높은 오수로 대별된다.

Table 1. Characteristics of domestic wastewater.

Item(mg/L)	First Wastewater(S.D.)	Second Wastewater(S.D.)
TCODcr	463(±34.6)	315(±27.17)
SCOD	275(±19.7)	195(±22.51)
TKN	45(±3.38)	47(±1.99)
NH ₄ ⁺ -N	34(±4.57)	42(±2.29)
NO ₃ ⁻ -N	ND	ND
NO ₂ ⁻ -N	ND	ND
TP	6.2(±0.34)	5.6(±0.32)
Ortho-P	2.6(±0.36)	2.4(±0.31)
COD/N ratio	10.0(±0.86)	6.7(±1.70)
Ceriodaphnia dubia(EC ₅₀)	84.9%	72.2%
Toxicity (Nitrifier)	12%	43%

2.2. 분석 방법

측정을 위한 시료는 유입수, 유출수 및 침전조 앞에 위치한 반응조의 중앙 내부에서 약 50mL 정도 채취하였다. 시료는 즉시 0.45µm membrane filter로 여과하여 고형물을 제거하여 분석하였다. CODcr, MLSS, MLVSS, TKN, NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N는 standard method에 의거 분석하였다.⁹⁾ 분석과정에서 주기적으로 Calibration을 하여 분석 오차를 최소화 하도록 하였다.

III. 결과 및 고찰

1. MLVSS 및 COD의 변화

각 시스템을 운영시 반응조내 MLVSS농도는 Fig. 4.와 같다. 시스템 운영 초기에는 1단계 유입수(C/N ratio 10.0)를 이용하였고 57일 이후에는 2 단계 유입수(C/N ratio 6.7)로 실험한 경우이다. 이때 MLSS의 농도는 운영 후 45일 이후 부터는 안정상태인 1500~2100mg/L에 도달하였다. 유로 변경 시스템의 경우가 2단 간헐폭기 및 4단 바덴

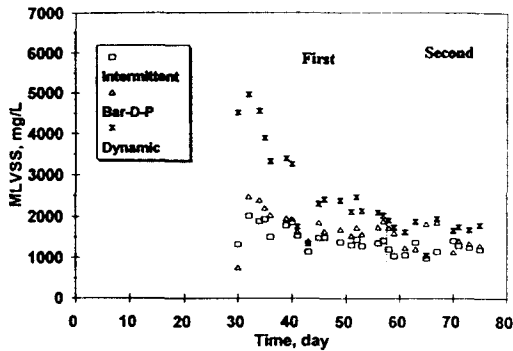


Fig. 4. Temporal variation of MLVSS for process type(2-stage intermittently aerated activated sludge system, Bardenpho and Dynamic flow system)

포 시스템 보다 다소 높게 유지되었다. 이는 유로 변경시 회분식으로 운영되던 반응조가 간헐적인 유기물의 공급으로 인하여 미생물의 농도가 축적되었던 것으로 사료된다. 시스템의 운전 기간중 MLSS 및 MLVSS의 농도는 제 1번 반응조에서 약간 높게 측정되었다. 2단계 유입수로 운영시에는 MLVSS 농도가 1단계보다 다소 낮아져 1100~1700을 유지하여 1단계 유입수 이용시 보다 평균 33% 감소되었다. 이는 유입 유기물의 감소 및 독성물질로 인하여 성장에 다소 영향을 미친 것으로 판단된다.

단계별 유입 및 유출되는 유기물의 농도는 Fig. 5와 같다. 시스템의 유기물 제거효율(COD_{Cr}기준)은 1단계 실험 유입수인 경우 89%이었으며, 2단계 실험 유입수인 경우 83%가 제거되었다. 반면, 1단계 및 2단계 실험중 C/N비의 높고 낮음에 관계없이 유출되는 유기물의 농도는 55mg/L(COD), 4mg/L(BOD₅)로 일정하였다. 각 단계별 유기물 제거효율의 차이는 유기물 측정방법으로 COD_{Cr}을 이용하였기 때문에 유출수중 난분해성 유기물이 측정됨에 기인되는 것으로 사료된다. 각 시스템별 제거효율의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.

2. 시스템별 질소제거

C/N비가 높고 독성물질이 거의 없는 경우(1단

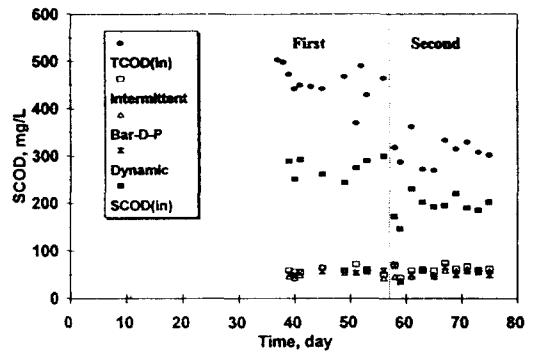


Fig. 5. Temporal variation of COD concentration for process type(2-stage intermittently aerated activated sludge system, Bar-D-P and Dynamic flow system)

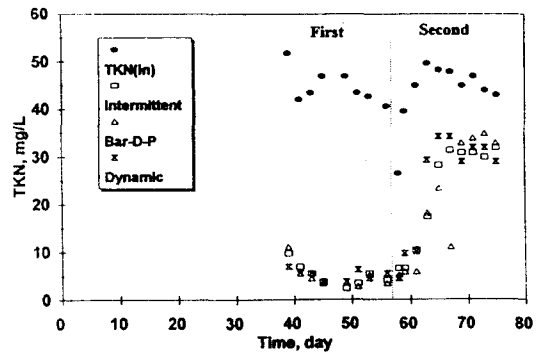


Fig. 6. Temporal variation of TKN for process type(2-stage intermittently aerated activated sludge system, Bardenpho and Dynamic flow system)

계 실험 유입수) 총 질소 제거율은 66~75%(±5.79)가 제거되었다. 하지만 2단계 실험 유입수를 사용시는 27~29%(±4.91)로 급격하게 감소되었다.(Fig. 10. 11.) 유출수중 TKN 및 암모니아인 경우 1단계 실험 유입수의 사용시에는 질산화가 잘 진행되어 각각 5 및 2mg/L이하가 검출되었으나 2단계 실험 유입수 사용시 28~34mg/L 및 15~30mg/L의 높은 농도가 유출수에서 검출됨이 관찰된다.(Fig. 6. 7.) 이는 1단계에서 이용된 생활오수에는 독성물질이 비교적 적게 존재하여 질화반응이 무리없이 진행되었기 때문이다. 하지만 2단계에서 이용된 기숙사 생활오수에는 주방용 세제 및 화장

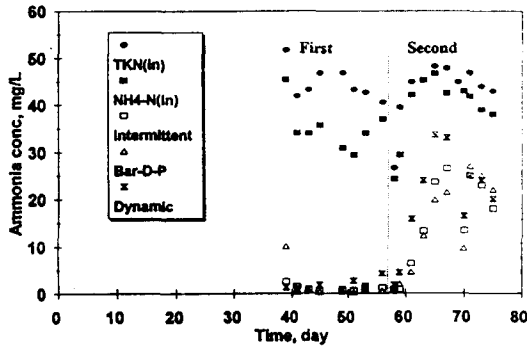


Fig. 7. Temporal variation of Ammonia for process type(2-stage intermittently aerated activated sludge system, Bardenpho and Dynamic flow system)

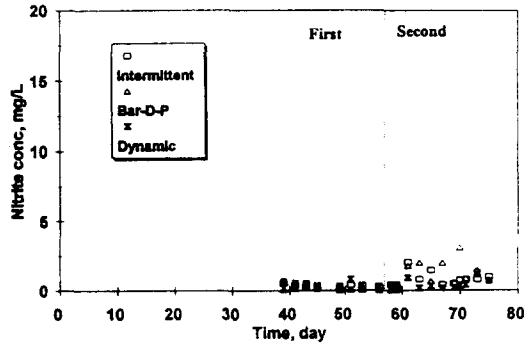


Fig. 8. Temporal variation of Nitrite for process type(2-stage intermittently aerated activated sludge system, Bardenpho and Dynamic flow system)

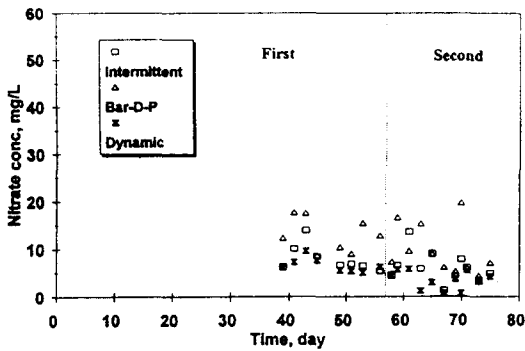


Fig. 9. Temporal variation of Nitrate for process type(2-stage intermittently aerated activated sludge system, Bardenpho and Dynamic flow system)

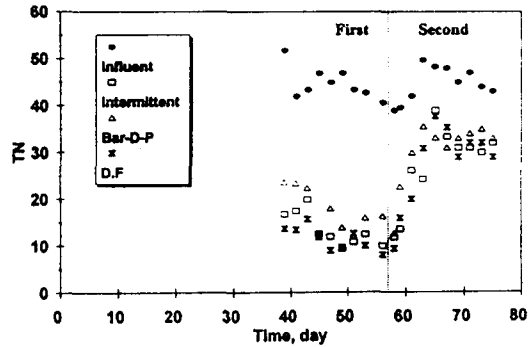


Fig. 10. Temporal variation of TN for process type(2-stage intermittently aerated activated sludge system, Bardenpho and Dynamic flow system)

실 세척용 화학약품이 과다하게 유입되어 비교적 독성에 약한 질화균이 사멸됨에 따라 질화반응이 억제된 것으로 판단된다.

Fig. 8, 9는 각 반응조 유출수의 Nitrite 및 Nitrate의 농도를 나타낸 것이다. Nitrite의 농도는 매우 적은 2mg/L이하의 농도로 검출됨이 관찰되었다. Nitrate는 1단계 실험에서는 5~14mg/L 정도의 농도가 검출되었다. 이는 유출되는 Ammonia의 농도로 보아 질산화가 무리없이 진행되었기 때문에 유입수의 유기물을 이용하여 탈질산화 후 잔류되는 질산염으로 사료된다. 각 시스템별 커다란

차이는 없었으나 2단계간헐폭기 및 유로변경 간헐폭기 활성슬러지 시스템이 4단 바덴포 시스템 보다 다소 많은 질산염의 제거가 이루어졌다. 2단계 실험에서는 1단계와 거의 같은 농도로 검출되었다. 하지만 이 경우는 유입수의 독성물질이 존재하여 질산화 반응이 억제된 경우이므로 탈질 후 잔류되는 질산염이 아닌 질화균이 억제를 받으며 생성된 질산염이라 사료된다.

이상과 같이 질소 제거 기작이 유입수의 C/N비율 및 독성물질에 크게 영향을 받는 것임을 알 수 있다. 1단계 유입수이용시 2단계 간헐폭기, 유로변경

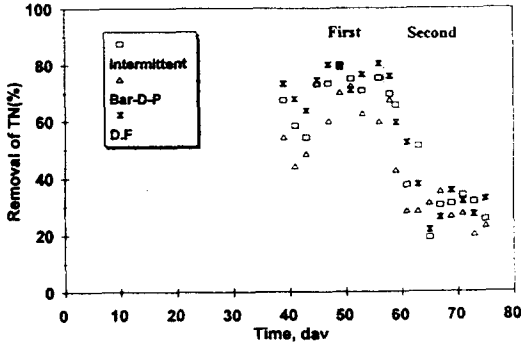


Fig. 11. Temporal variation of removal efficiency for process type(2-stage intermittently aerated activated sludge system, Bar - denpho and Dynamic flow system)

간헐폭기 활성슬러지 시스템 및 바덴포 시스템에서의 질소제거율은 75, 77 및 66%로 2단 간헐폭기 및 유로변경 간헐폭기 활성슬러지 시스템이 바덴포 시스템 보다 우수함이 관찰되었다. 따라서 본 연구 결과로부터 2단 간헐폭기 및 유로변경 간헐폭기 활성슬러지 시스템이 기존의 영양염류 처리공정보다 경쟁력이 있는 것으로 사료된다.

IV. 결 론

도시하수의 영양염류 제거를 위한 2단 간헐폭기 및 유로변경 간헐폭기 활성슬러지 시스템의 운영과 4단 바덴포 시스템의 상호 비교 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

1. C/N비의 높고 낮음에 관계없이 각 시스템별 유기물 제거효율의 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.
2. 도시하수의 C/N비(10.3)가 높을 경우 2단 간헐폭기, 유로변경 간헐폭기 활성슬러지 시스템 및 Bardenpho 시스템에서의 총 질소 제거율은 각각 75, 77 및 66%로 2단 간헐폭기 및 유로변경 간헐폭기 활성슬러지 시스템이 Bardenpho시스템보다 TN 제거가 우수함이 관찰되었다.
3. 본 연구에서 사용한 정화조가 있는 생활오수

(기숙사)에는 독성물질 존재하여 질화반응이 억제됨이 관찰되었다.

참 고 문 헌

1. Barnace. D. and Bliss. P. J. : Biological control of nitrogen in wastewater treatment, PRESS CAMBRIGE, 113-123, 1983.
2. Simpkins, M. J. : nitrate removal in an activated sludge plant, Prog. Wat. Technol, vol.10. 422-433, 1978.
3. Ludzack, F. J. and Ettinger, B. M. : Controlling operation to minimize activated sludge effluent nitrogen, Journal WPCF, vol.34. 920-931, 1982.
4. Siebritz, I. P., et al. : Excess biological phosphorus removal in the activated sludge process at warm temperature climates, Prog Waste treatment and utilization, vol.2. 233-251, 1980.
5. 須藤隆 -外1人 : 下水からの窒素および磷除去の意義と處理技術の 動向, 下水道協會誌, vol. 20. No.230. 12-23, 1983.
6. Araki. H, Koga. K, Kusuda. T and Awaya. Y : Intermittent aeration for nitrogen removal in small oxidation ditch, Wat. Sci. Tech, vol.22. 131-138. 1990.
7. Takashi Osada, Kiyonori Hada and Yasuo Harada : 制限曝氣式回分活性汚泥法による豚舎汚 水中の窒素の除去, 水質汚濁研究, 第12卷 2號, 122-130
8. Takashi Osada, Kiyonori Hada and Yasuo : Removal of nitrogen and phosphorus from swine wastewater by the activated sludge units with the intermittent aeration process. Wat. Res., vol.25, no11, 1377-1388. 1991.
9. Andrew. D, Eaton : Standard Method for the Examination of Water and wastewater, American Public Health Association, 1985.