

SBR에서 충격부하에 따른 완충효과

Buffering effects of shock loads in sequencing batch reactor

지대현^{1*} · 이광호¹ · 이재근²

Dae-Hyun Ji^{1*} · Kwang-Ho Lee¹ · Jae-Kune Lee²

1 충북대학교 도시공학과, 2 대전발전연구원

(2008년 8월 30일 접수; 2008년 9월 25일 1차수정; 2008년 10월 12일 2차수정; 2008년 10월15일 채택)

Abstract

In this study, we investigated the buffering effect with different COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and TP shock loads on the performance of lab-scale Sequencing Batch Reactor(SBR) using synthetic wastewater. This study was operated under the following conditions : HRT, 12 hrs : MLSS, 2,000 mg/L : F/M ratio, 0.2 kgCOD/kgMLSS · d : SRT, 20days, and was increased by a factor, COD : ranging from 200-2000 mg/L, $\text{NH}_4^+\text{-N}$: ranging from 30-300 mg/L, T-P : ranging from 5-50 mg/L in the reactor. As results, COD removal rate at different shock loads was decreased until 42.1%(stable state : 95%) and concentration with effluent was higher than 695 mg/L(at Run 6). In case of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal rate was decreased until 35.8% from 97.0% and also T-P removal rate was decreased until 5.0%. Effluent concentrations of COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ and T-P were rapidly increased according to shock loads and needed 3, 4 and 6 additional cycle times for recovering the stable condition.

Key words : Shock loads, Buffering effect, Sequencing batch reactor, content in sludge

주제어 : 충격부하, 완충효과, 연속회분식반응조, 슬러지함유 영양물질

1. 서론

일상생활 및 산업활동으로 발생하는 오폐수는 유량 및 수질의 변화가 발생하게 되며, 소규모 지역일수록 그 변화폭은 커지게 된다. 특히 소규모 폐수처리시설에서 축산폐수나 공장폐수를 처리할 경우 평균치보다 훨씬 높은 폐수가 유입되기도 하여 폐수처리시설의 불안전성을 야기하기도 한다. 이의 결과로 이어지는 배출농도 불안정은 수질오염총량제, 환경기초시설 배출농도 및 배출부하량의 증대를 가져와 할당

부하량 준수에 어려움을 겪게 된다(이 등, 2008). 이에 폐수처리공법에서는 반응조의 유기물부하에 대한 안전성이 반응조 설계에 있어서 가장 중요한 인자 중의 하나로 평가받고 있다(Machiyasit et al., 1997a). 처리반응조의 운전에서 큰 유기물 충격부하는 전체 시스템의 불안전성을 초래하므로(Moreira et al., 2008) 과부하된 조건에서의 운전 형태 및 돌이킬 수 없는 악영향이 나타나기 전에 안정적인 상태로 다시 회복할 수 있는 임계점을 파악하는 것은 매우 중요하다.

*Corresponding author Tel : +82-17-243-1582, FAX : +82-42-530-3556, E-mail : dlworms@hanmail.net(Ji, D.H.)

충격부하에 대한 선행연구들을 보면, Caine 등(1991)은 충격부하에 완충능력을 갖는 여러 처리공법들이 적용 검토하였고, Masse 등(2005)은 가속도살장 폐수를 이용한 혐기성 SBR을 운영하여 유기물 충격부하에 관한 연구를 수행하였으며, Moreira 등(2008)은 SBR의 변법이라고 할 수 있는 ASBBR을 사용하여 정상운전의 2~4배의 농도로 유입수가 주입하여 일시적인 충격에 매우 적응력이 좋아 비슷한 유출수질을 얻었다고 하였다. Nachaiyasit 등(1997b)은 Anaerobic Baffled Reactors (ABR)이 공장폐수 유기물 충격부하에 잠재력을 가지고 있다고 하였으며, Borja 등(1995)은 Fluidized Bed Reactor를 사용하여 충격부하가 6-16시간 안에 정상화 되었음을 발표한 바 있다. 또한, Nadais 등(2000)은 UASB를 사용한 간헐적인 운전에서 4.5 gCOD/L 및 12.0 gCOD/L에서 거의 비슷한 COD 제거 효율을 얻었다고 하였으며, Amorim 등(2005)의 Anaerobic Fixed-bed Reactor은 2000 mg/L 이상의 유입수가 주입되었을 때 유출수질에 문제점이 생겼으며, 과부하된 후 15시간이 지나서 대부분 초기상태로 회복 되었다고 보고되고 있다. 이러한 논문들은 충격부하가 발생시 반응조가 안정화 상태로 돌아오는데 걸리는 운전회수를 알아본 것으로써 중요한 의미를 가진다.

충격부하는 몇 시간 이내의 일시적인 것과 수일에서 수주까지 지속되는 장기간의 것이 있을 수 있다. 이에 이번 연구에서는 SBR 공법에서 1-cycle에 주입되는 유입수의 단기 충격부하가 유출수 및 슬러지 함량에 미치는 영향을 파악하여 안정적인 유출수질을 보이는 충격부하의 한계를 제시하고, 한계를 초과하였을 경우 정상상태로 되돌아오는 시간을 나타내고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1. 실험장치 및 운전

본 연구를 위해서 SBR 공법을 적용하였으며, 운전 시스템 장치 및 방법은 Lee 등(2007)이 적용한 10 L 반응용적의 아크릴 반응조, 20 L 용량의 Feed tank, 포기를 위한 산기 장치, 상등수 배출을 위한 Solenoid Valve, 무산소구간에서 혼합을 위한 교반모터, 자동운전을 위한 Timer, DO meter, pH meter 그리고 샘플링을 위한 멤브레인을 설치하였다.

총 360분간의 1-cycle운전은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 무산소(I) (60 min) - 호기(I) (60 min) - 무산소(II) (80 min) - 호기(II) (60 min) - 침전 (40 min) - 유출 (40 min)의 순서로 구성하였다. 이 중 미생물과 합성폐수가 미생물과 반응하는 구간은 무산소(I)에서 호기(II) 구간까지의 280분이며, 이후 침전 구간에 슬러지를 침전시킨 후 유출

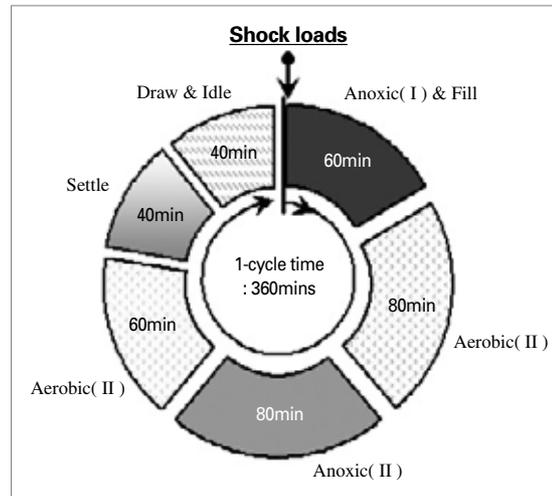


Fig. 1. Time variation of 1-cycle in SBR.

구간에는 고액 분리된 상등수가 반응용적의 50%인 5 L가 유출되게 하였다.

SBR 운전에서는 탈질에 의한 pH 저하가 질산화 및 탈질이 방해받지 않도록 pH를 7.0-8.0을 유지하도록 알카리도 주입을 하였으며, DO는 무산소 구간에서 0.1 mg/L 이하를 호기 구간에서는 원활한 산화를 위해서 2.0 mg/L 이상을 유지시켰다. 정상상태의 F/M비가 0.2 kgCOD/kgMLSS · d이었으며, 충격부하 실험 전 바탕실험에서 유출수와 슬러지 내 함유 COD, N, P의 양을 정량분석하여 충격부하 실험 후 진행된 분석결과, 바탕실험에서 분석한 값으로 회복하였을 때 이를 정상상태로 돌아온 것으로 판단하였고, 충격부하가 가해졌을 때부터 정상상태로 복귀하는데까지 걸리는 시간을 최대 추가 운전회수로 정하였으며, 다음 충격부하실험을 수행하였다. SRT는 20 days, HRT는 12 hrs로 운전하였다.

2.2. 실험방법

본 실험에 사용한 시료는 합성폐수를 사용하였으며 이에 소요된 약품으로는 glucose (C₆H₁₂O₆), ammonium sulfate ((NH₄)₂SO₄), potassium dihydrogen orthophosphate (KH₂PO₄), sodium bicarbonate (NaHCO₃), magnesium sulfate (MgSO₄ · 7H₂O) 그리고

Table 1. SBR operation mode at Run 1~6

	MLSS (mg/L)	C _{N,COD} (mg/L)	C _{N,TN} (mg/L)	C _{N,TP} (mg/L)
Run 1	2,000	200	30	5
Run 2	2,000	400	60	10
Run 3	2,000	600	90	15
Run 4	2,000	1,000	150	25
Run 5	2,000	1,500	225	38
Run 6	2,000	2,000	300	50

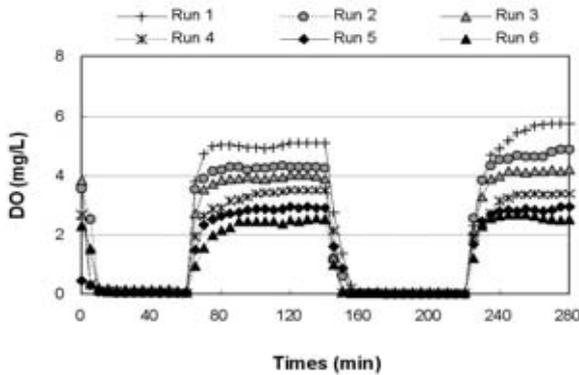


Fig. 2. Variation of dissolved oxygen concentration according to the shock loads.

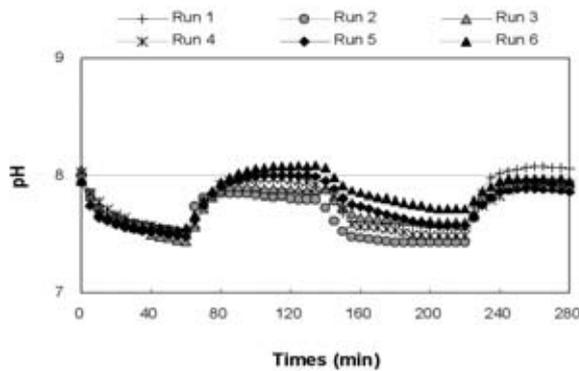


Fig. 3. Variation of pH according to the shock loads.

KCl, CaCl₂ · 2H₂O, FeCl₃ · 6H₂O와 같은 미네랄들이 사용되었으며, 온도에 의한 영향을 최소화하기 위하여 시료를 1일 2회 제조하여 20℃이하의 실온에서 보관하였으며 반응조 내의 온도는 18~20℃의 범위로 유기물 흡착 및 영양염류 제거에 알맞게 조절하였다.

정상상태의 실험 Run 1을 위한 유입수 농도는 실제 하수 조성과 같은 Table 1과 같이 COD_{Cr} 200 mg/L, TN 30 mg/L, TP 5 mg/L 그리고 알카리도 150 mg/L가 주입이 되었다(Lee et al, 2007). 충격부하는 Run 2~Run 6의 실험을 하였는데 각각의 경우 MLSS를 2,000 mg/L로 고정된 상태에서 COD, NH₄⁺-N, TP의 유입농도를 Run 1의 2배, 3배, 5배, 7.5배 그리고 10배의 농도로 주입이 되었다.

실험 분석은 유입수, 유출수 및 침전지전의 슬러지에 대해서 COD, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, NO₂⁻-N 및 T-P를, 그리고 반응조의 DO, pH 및 MLSS를 측정하였다. 단 슬러지 용출은 질산-황산법(수질오염공정시험법, 2007)으로 시료를 전처리하였다. 이 방법은 NO₃⁻-N 성분이 추가되는 관계로 인하여 슬러지의 NO₃⁻-N 측정은 수행하지 않았다.

COD는 Standard Method(20th ed., 1998)에 의거 증크롬산법으로 측정하였으며, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, NO₂⁻-N는 DR-4000을 이용한 흡광도법을 적용하였다. 또한 TP는

UV-VIS 흡광광도계(Helios α, Unicam, UK)를 이용하여 Ascrobic acid 법에 의하여 수행하였다. DO는 YSI 58 DO meter를 사용하였으며, MLSS는 Standard Method에 의하여 측정되었다.

3. 결과 및 고찰

3.1 충격부하에 따른 pH, DO 및 온도 변화

Fig. 2는 충격부하에 Run 1~6의 따른 DO 농도 변화를 나타내고 있다. 주입된 공기의 양은 모두 200 mL/min으로 일정하였다. DO 농도는 충격부하에 상관없이 모두 호기구간에서 2 mg/L 이상을 유지하여 유기물 산화 및 질산화에 있어 저해요소로 작용하지는 않았던 것으로 판단된다. 반면, Run 1~6의 DO 농도는 호기(I) 구간에서는 5.1, 4.3, 4.0, 3.5, 2.9 및 2.5 mg/L로, 호기(II) 구간에서는 5.8, 4.9, 4.2, 3.4, 2.9 및 2.5 mg/L로 낮아져, 유입 유기물부하가 높을수록 유기물 산화 및 질산화에 DO가 많이 소요되었음을 알 수 있었다. 무산소 구간에서는 충격부하의 증가로 DO가 0.1 mg/L 이하로 감소하는 시간이 줄어들었다. 무산소(I) 구간은 Run 1~6에서 각각 13, 11, 11, 11, 10 및 9 min, 무산소(II) 구간에서는 각각 19, 16, 12, 12, 11 및 10 min이었다. 이로써 유입수가 주입되는 무산소(I) 구간에서, 충격부하가 클수록 DO 농도 저감시간이 단축되었음을 알 수 있었다. 반면 유입부하가 높지 않은 경우에는 DO 농도가 높을수록 무산소 조건으로 전환되는데 필요한 시간이 많이 소요되므로, 적정 DO 농도를 유지하는 것이 필요할 것으로 사료된다.

Fig. 3는 충격부하에 대한 pH 변화를 나타내고 있다. 탈질이 이루어지는 무산소 구간에서 pH가 감소하고, 호기구간에는 알카리도의 생성으로 pH가 상승함을 볼 수 있다. 또한 무산소(I) 구간에서는 7.4~8.1, 호기(I) 구간에서는 7.5~8.1, 무산소(II) 구간에서는 7.5~8.0 그리고 호기(II) 구간에서는 7.6~8.1의 pH를 유지하여 질산화 및 탈질에 저해요소로 작용하지 않는 것으로 판단된다.

3.2 유출수질의 변화

Fig. 4는 cycle 1~8의 안정상태를, cycle 9에서는 충격부하 주입의 영향을, 그리고 cycle 10~26에서 안정화되고 있는 과정을 COD, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, NO₂⁻-N 및 TP의 유출수질을 나타내어 설명하고 있다. 우선 안정된 상태에서의 평균 유출수 농도는 COD 10.4 mg/L, NH₄⁺-N 0.14 mg/L, NO₃⁻-N 10.2 mg/L, NO₂⁻-N 0.05 mg/L 그리고 TP는 3.31 mg/L를 나타내었다.

COD는 Table 1과 같이 정상 유입수농도 200 mg/L의 5배인 1000 mg/L이 주입될 때까지인 Run 1~4에서 11.2, 12.2, 18.1 및 32.9 mg/L로 유출수 농도가 약간 상승하다

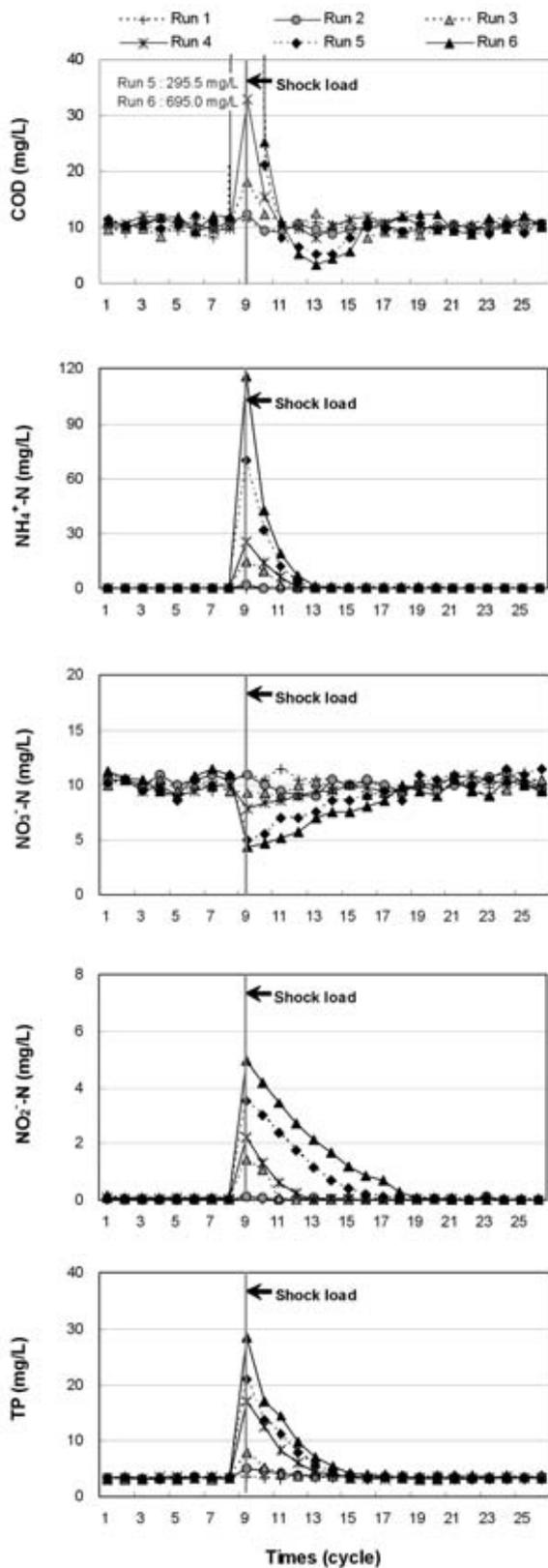


Fig. 4. Effluent concentrations of COD, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N, NO₂⁻-N and TP according to the shock loads.

가, 7.5배 및 10배가 주입된 Run 5~6에서 295.5 및 695.0 mg/L로 급등하였다. 또한 충격부하 후 Run 1~3은 곧바로 다음 cycle에서 정상 유출농도 범위로 복귀하였지만, Run 4~6에서는 1회의 운전이 더 필요하였다. 특히 큰 충격부하가 있었던 Run 5와 6에서는 cycle 12~15에서 평상시보다 낮은 유출농도를 나타냈다.

NH₄⁺-N은 정상 주입농도인 30 mg/L의 3배인 90 mg/L가 주입된 Run 3에서부터 유출농도가 급격히 증가하기 시작하여 Run 3~6에서 14.6, 25.3, 70.4 및 115.5 mg/L를 나타냈다. 충격부하 후 정상농도 복귀에 소요된 기간은 Run 1~2가 0 cycle, 그리고 Run 3~6에서 2, 2, 3 및 4회의 운전이 더 소요되어 COD보다 상대적으로 긴 기간이 요구되었다.

NO₃⁻-N은 유입수의 충격부하가 없어 Run 1~6 전체에서 유출수의 악화가 발생하지 않았으며, 오히려 충격부하시에 Run 4~6에서 정상상태의 농도보다 낮은 7.8, 4.5 및 4.3 mg/L로 각각 유출되었으며, 9 mg/L의 유출농도로 각각 2, 6, 8 회 더 지속되었다.

NO₂⁻-N 또한 NO₃⁻-N과 마찬가지로 유입수에 충격부하로 주입되지는 않았지만, 그 영향으로 Run 3~6에서 유출농도의 증가가 있었으며, 평균 0.05 mg/L였던 유출농도는 충격부하시 1.44, 2.23, 3.05 및 4.16 mg/L로 배출되었으며, 이 증가량은 NO₃⁻-N이 감소된 유출농도보다 약간 작았는데 이는 Table 2에 나타난 바와 같다. 이에 Run 5의 cycle 9~13 및 Run 6의 cycle 9~16에서 낮은 NO_x⁻-N (NO₂⁻-N + NO₃⁻-N) 농도가 유출되었는데, 이는 높은 유기물부하로 인하여 무산소(II) 구간에서 탈질량이 증가했기 때문으로 사료된다.

TP는 정상 유입농도 5 mg/L로 운전이 되었으며 정상 유출농도는 3.31 mg/L였다. 이에 충격부하에 따른 Run 1~6의 유출농도는 3.51, 4.98, 7.81, 17.03, 28.50 mg/L로, 충격부하시 COD 및 NH₄⁺-N에 비하여 즉각적인 유출수질 증가가 있었다. 또한 충격부하에 따른 유출수질의 안정화에도 Run 2~6에서 2, 2, 3, 5 및 6회의 운전이 추가로 요구되어 NH₄⁺-N과 비슷한 안정화 기간이 필요하였다.

3.3 슬러지 함유 영양물질량 변화

Fig. 5에는 충격부하에 따른 슬러지가 함유하고 있는 COD, NH₄⁺-N, NO₂⁻-N 및 TP와 같은 영양물질의 농도를 측정된 값을 나타내었다. NO₃⁻-N의 경우 슬러지에 흡착되어 있는 영양염류를 용출하기 위하여 사용된 질산-환산법에 다량의 NO₃⁻-N이 함유되어 유출수 수질에 큰 영향을 미쳤기 때문이다. COD는 정상상태인 Run 1에서 평균 792 mg/L를 유지했는데, 충격부하로 Run 2~6에서 897, 972, 1179, 1345 및 1552 mg/L를 나타내어 105, 180, 387, 553

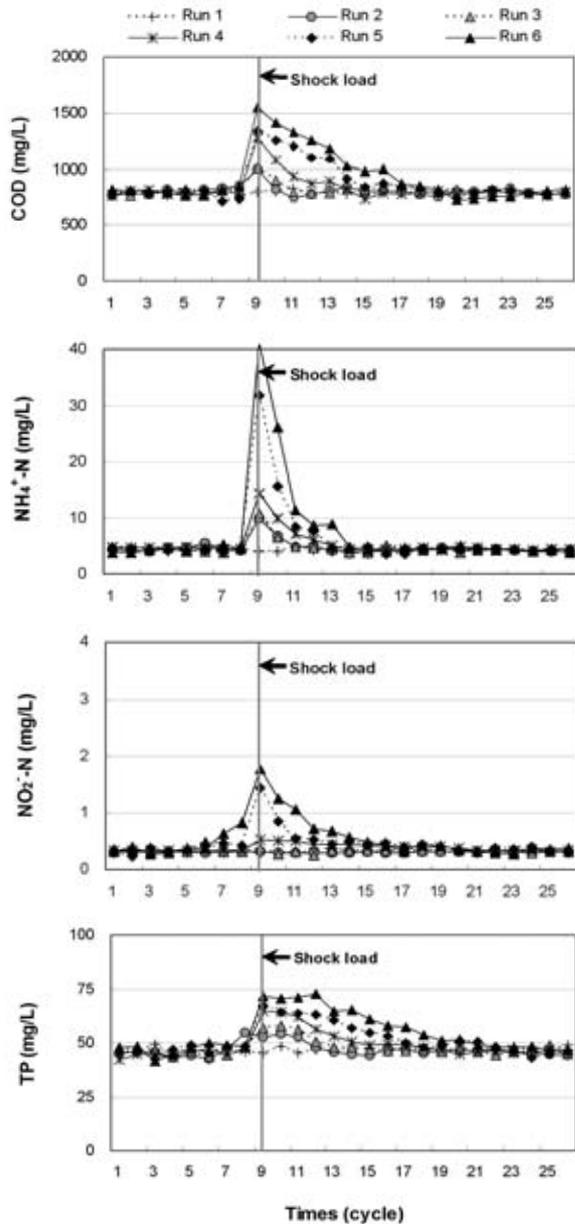


Fig. 5. Content in sludge concentrations of COD, NH₄⁺-N, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N and TP according to the shock loads.

및 760 mg/L의 증가가 있었다. 이는 추가적인 COD 부하가 Run 2~6에서 200, 400, 800, 1300, 1800 mg/L가 있었다는 고려하면 각각 52.5, 45.0, 48.3, 42.5 및 42.2%가 슬러지에 흡착되었다고 판단된다. 또한, 1 cycle의 운전에서 74.3 mg/L의 COD를 추가적으로 제거할 수 있게 된다. 따라서, 본 SBR에서는 COD의 부하가 반응조에 평균 74.3 mg/L 이상 주입되지 않으면 슬러지에 COD가 흡착하지 않고 정상상태와 같은 유출수를 얻을 수 있게 될 것으로 판단된다.

NH₄⁺-N은 충격부하가 없었던 Run 1에서 평균 4.3mg/L를 유지하였다. 충격부하가 주어진 Run 2~6에서 9.9, 10.8, 14.4, 31.8 및 41.2 mg/L 를 나타내어 5.6, 6.5, 10.1, 27.5 및 36.9 mg/L 로 Run 6에서는 정상상태보다 9 배가 증가하였다. 또한 반응조 유출수가 정상상태로 돌아오는데 걸린 운전횟수는 각각 3, 5, 6, 6, 6 회로 NH₄⁺-N의 유입농도가 120 mg/L 이상의 충격부하가 주어졌을 때 6회로 일정하게 유지된 바 본 SBR 반응조에서는 유기물의 함량이 일정하게 증가하면 이에 따라서 NH₄⁺-N의 농도도 일정하게 증가시켜 그 제거효율을 높일 수 있다고 판단된다.

슬러지에 함유된 NO₂⁻-N의 농도를 살펴보면, 정상상태 0.32 mg/L 보다 5배 많은 1.77 mg/L 로 조사되었다. 이는 충격부하에 따른 반응조 내 NH₄⁺-N의 질산화에 의해 생성된 NO₂⁻-N의 농도도 증가하였지만, NH₄⁺-N의 증가량 보다는 그 양이 상당량 적은 것으로 조사되었다. 이는 대부분의 NH₄⁺-N이 분해되어 NO₂⁻-N 보다 NO₃⁻-N로 더 많이 질산화되어 질소제거율이 저하되었다.

TP는 5 mg/L의 농도로 정상 유입된 Run 1에서 평균 슬러지 함유량은 46.5 mg/L로 유지되었는데, 충격부하로 이어진 Run 2~6에서는 52.5, 57.0, 64.5, 67.5 및 71.5 mg/L로 그 양이 증가하였다. TP의 경우 정상상태로 돌아오기까지 각각 3, 5, 9, 13 및 15회의 추가운전이 필요하였다. 이는 반응조 내에서 MLSS의 농도가 일정하게 유지되어 미생물이 함유할 수 있는 TP의 양도 일정하게 제거되었기 때문이다. 또한, TP와 NH₄⁺-N의 충격부하에 유출수질의 안정화 정도를 비교하면 서로 비슷한 추가 운전회수가 필요하였지

Table 2. Variation of NO_x⁻-N (NO₂⁻-N + NO₃⁻-N) concentration after the shock loads

cycle	Run 1	Run 2	Run 3	Run 4	Run 5	Run 6
9	11.12	11.11	10.71	10.03	7.55	8.46
10	10.52	10.10	10.38	9.59	5.52	5.58
11	11.51	9.51	9.06	9.11	8.37	6.15
12	10.51	9.03	10.01	9.24	7.75	6.40
13	10.59	9.07	10.31	9.51	7.67	6.52
14	10.51	10.52	9.72	9.53	9.21	8.57
15	10.01	10.03	10.10	10.05	8.89	8.38
16	10.31	10.52	9.11	9.81	9.20	8.65
17	9.71	10.02	9.32	9.52	9.61	9.01
18	9.11	9.51	9.51	9.62	10.58	10.10

만 슬러지 내 함유 영양물질량 변화를 비교하면 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 가 안정화되는 추가 운전회수에 비해 TP의 경우 그 2배 이상이 걸는 것으로 확인되었다. 이는 SBR 반응조의 경우 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 유입농도보다 TP의 유입농도가 더 많은 영향을 주어 이에 대한 대책방안이 강구되어야 한다.

4. 결론

유기물 및 영양염류의 충격부하 시 반응조의 안정적인 상태로 회복할 수 있는 임계점을 파악한 실험결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 정상상태 Run 1인 SBR 반응조에서는 COD, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TP의 제거율은 각각 95.0%, 99.7%, 30.0%로 유지되었으나 Run 1 유입농도의 2배, 3배, 5배, 7.5배 및 10배의 농도로 충격부하를 가하였을 때의 COD 제거율은 MLSS농도가 2,000 mg/L로 고정되어있어, 미생물에 의한 유기물산화 및 영양염류의 증가에 의한 미생물의 적응력이 한계치를 넘어 그 제거효율이 97.0%에서 42.1%로 감소하였으며, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 제거율은 97.0%에서 35.8%, TP 제거율은 30.0%에서 5.0%로 감소되었다.
2. 유출수에 함유된 수질의 변화는 충격부하량의 증가에 따라 COD의 농도가 소폭 상승하다 급격히 증가하였으며, TP의 경우 COD 및 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 에 비하여 즉각적인 유출수 증가로 이어졌다. 또한, 추가유입이 이루어지지 않은 $\text{NO}_x^-\text{-N}$ 의 농도는 추가 유기물부하의 증가로 인하여 무산소(II) 구간에서 탈질량이 많아져 유출농도가 감소하였다.
3. 유출수 내 COD 및 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TP가 정상상태로 복귀하는데 걸리는 최대 추가 운전회수는 각각 3회, 4회, 6회로 TP가 가장 큰 것으로 조사되었다.
4. 슬러지에 함유된 농도가 정상상태로 복귀하는데 걸리는 최대 추가운전회수를 살펴보면, COD 및 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, TP가 각각 10회, 6회, 15회로 유출수 농도가 정상상태로 복귀하는데 걸리는 추가운전회수의 2배 이상 긴 것으로 나타났으며, COD의 경우 충격부하농도가 급격히 증가할수록 추가운전회수 또한 증가하였다. 이에 반해 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 경우는 비교적 짧은 추가운전회수가 필요하였으며, TP의 경우 유출수가 정상상태로 복귀하는데 걸리는 추가운전회수는 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 와 비슷한 안정화 기간이 필요하였지만, 슬러지에 함유된 TP의 농도가 정상상태로 복귀하는데 걸리는 추가운전회수는 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 의 2배 이상 긴 것으로 판단되어 충격부하 시 TP의 농도에 대한 주의가 필요하다.

참고문헌

1. APHA(1998) *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*, 20th ed., APHA, Washington, DC.
2. Ariuska Karla Barbosa Amorima, Marcelo Zaiatb and Eugenio Forestib.(2005) Performance and stability of an anaerobic fixed bed reactor subjected to progressive increasing concentrations of influent organic matter and organic shock loads, *Journal of Environmental Management*, 76, pp.319?325
3. Borja, R., Banks, C.J. and Wang, Z.(1995) Stability and performance of anaerobic fluidized bed reactor treating ice-cream wastewater to organic, hydraulic, temperature and ph shocks, *Journal of Biotechnology*, 39, pp.251-259
4. Caine, M.E., Anderson, G.K. and Donnelly T.(1991) A study into the effect of a series of shocks on a pilot-scale anaerobic filter. In: *Proceedings of the 45th Industrial Waste Conference*, Purdue university, pp.451-461
5. H. Nadaisa, I. Capelaa, L. Arrojaa, A. Duarteb.(2005) Optimum cycle time for intermittent UASB reactors treating dairy wastewater, *Water Research*, 39, pp.1511-1518
6. Lee, J.K., Lee, K.H. and Yim, S.B.(2007) Optimization of nitrogen removal in a sequencing batch reactor system by variation of the time distribution, *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, 42(10), pp.1655-1663
7. L. Masse., D.I. Masse(2005) Effect of soluble organic, particulate organic, and hydraulic shock loads on anaerobic sequencing batch reactors treating slaughterhouse wastewater at 20°C, *Process Biochemistry*, 40, pp.1225-1232
8. Moreira, M.B., Ratusznei, S.M., Rodrigues, J.A.D., Zaiat, M. and Foresti, E.(2008) Influence of organic shock loads in an ASBBR treating synthetic wastewater with different concentration levels, *Bioresour Technology*, 99(8), pp.3256-3266
9. Nachaiyasit, S. and Stuckey, D.C.(1997a) The effect of shock loads on the performance of an anaerobic baffled reactor (ABR). 1. Step changes in feed concentration at constant retention time, *Water Research*, 31(11), pp.2737-2746
10. Nachaiyasit, S. and Stuckey, D.C.(1997b) The effect of



shock loads on the performance of an anaerobic baffled reactor (ABR). 2. Step and transient hydraulic at constant feed strength, *Water Research*, 31(11), pp.2747-2754

11. 이재근, 정우혁, 임수빈, 정환도(2008) 수질오염총량 감소를 위한 하수처리장 분산배치 및 하천유역의 배출부하량 특성, *한국수처리학회지*, 16, pp.45-56
12. 환경부(2007) *수질오염공정시험법*