

연속회분식 반응기(Sequencing Batch Reactor)에서 유기물, 질소 및 인의 거동에 관한 연구

한 기 백* · 박 동 근** · 이 해 군 · 김 창 원

* 경주전문대학 환경공업과 · ** 동서공과대학 환경공학과 · 부산대학교 환경공학과

(1996년 7월 1일 접수)

Study on Behavior of Organic, Nitrogen, and Phosphorus in the Sequencing Batch Reactor

Gee-Baek Han*, Dong-Keun Park**, Hae-Goon Lee, and Chang-Won Kim

* Dept. of Environ. Eng., Kyongju Junior College, Kyongju

** Dept. of Environ. Eng., Dongseo University, Pusan

Dept. of Environ. Eng., Pusan National University

(Manuscript received 1 July 1996)

In the study, we investigated the behavior and removal efficiency of organics, nitrogen, phosphorus with operating conditions in SBRs. Substrate used was synthetic wastewater in which the ratio of COD_{Cr} : N : P was 100 : 12 : 2. The cycling time in SBRs was adjusted at 6 hours and 8 hours, and then certainly included anaerobic and aerobic conditions. Also, for each cycling time, we performed 2 series of experiment simultaneously which was set up 10 days and 20 days as SRT. The removal efficiency of COD_{Cr} was over 97% in all operating conditions. In the 6 hours cycling time, the removal efficiency of PO_4^{3-} -P reached almost 100% in steady state. And then we could observe a typical phenomena of phosphorus release and uptake, and the removal efficiency of N was 67%. Residual N source was almost TKN and most of the rest remained as NO_2^- -N. Also the difference in both SRTs was not observed practically. In the 8 hours cycling time, dissolution of sludge appeared. and, PO_4^{3-} -P was not nearly removed but nitrogen was removed up to 75%. And the residual nitrogen was accumulated as NO_2^- -N.

Key words : Sequencing Batch Reactor, Cycling Time, Nitrification and Denitrification, Phosphorus Removal.

1. 서 론

우리나라는 1980년대 초반부터 하천, 호소와 같은 내수면이나, 내만으로 질소와 인과 같은 영양염류의 유입이 증가하여 부영양화가 급격히 진행되면서 적조 및 녹조현상이 빈발하고 있다. 이에 대한 대책으로 1996년부터 질소,

인에 대한 배출허용 규제를 청정지역에서 총질소 30mg/l, 총인 4mg/l으로 규제하고 있으나 그 규제농도가 원수의 수질보다 오히려 높기 때문에 우리나라의 대부분의 하수처리장은 유기물 제거만을 위해 설계되었으며, 질소와 인을 제거하기 위한 공정은 거의 고려되어

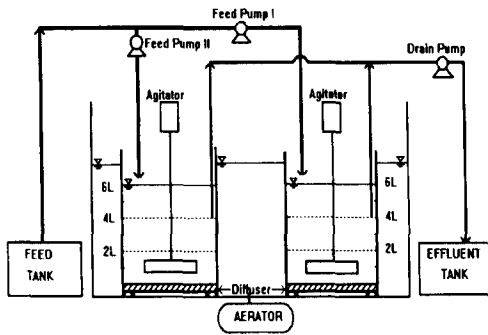


Fig. 1. Schematic diagram of SBR process.

있지 않고 있다.

그러나 국외에서는 Barnard (1976), Siebritz *et al.*(1983), 그외 많은 연구자들은 실제 규모의 생물학적 질소 및 인 제거 시설의 설치, 운영, 개량에 관한 연구를 활발하게 진행시켜 왔다. 그 결과 Modified Bardenpho 공정(Barnard, 1975), Phoredox 공정(McLaren and Wood, 1976; Osborn and Nicholls, 1977), UCT 공정(Ekama *et al.*, 1983), VIP 공정(CH2M Hill, 1986)등이 개발되었으며 계속 새로운 공법의 개발과 함께 많은 현장자료가 축적되었다(Wentzel *et al.*, 1992). 이 공정들은 모두 연속흐름혼합형 반응기(Continuous Flow Stirred Tank Reactor, CFSTR)를 사용하고 있다. 그러나

CFSTR에 의한 인과 질소의 동시제거 공정은 구조가 복잡하고 운전조건이 까다롭기 때문에 적절한 시설부지가 부족하고 전문인력을 확보하기 어려운 소규모 시설에는 적용하기 어렵다. 그래서 소규모 처리시설에서 유기물, 질소 및 인을 동시에 제거할 수 있는 연속회분식 반응기(Sequencing Batch Reactor, SBR)를 활용하려는 시도가 증가하고 있다(박동근, 1989; 박동근 외, 1993; 박동근, 1994).

따라서 본 연구에서는 실험실 규모의 SBR 운영을 통하여 질소, 인 및 유기물 제거를 위한 적절한 시간배분에 관한 지식을 얻고 이 때 COD_{Cr}, 질소화합물 및 인의 거동을 고찰하여 SBR의 설계와 운전에 필요한 기초적 지식을 축적하는데 그 목적을 두고 있다.

2. 재료 및 방법

2.1 실험장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig. 1과 같다. 최대 유효용적이 6 l (직경=250mm)인 2조의 반응기를 사용하였으며, 유입 및 유출펌프를 설치하였고 원활한 혼합을 위해 가변 교반기를 부착하였으며, 반응조내의 공기 공급을 위해 폭기기 및 산기기를 사용하였다. 2조의 반응기를 항온수조속에 장착시켜 반응온도를 20±3℃로 일정하게 유지시켰다. 기질공급, 처리수 배출, 폭기 및 혼합 등의 조작은 운전계획에 의해 timer로 자동제어되도록 하였다.

Table 1. Compositions of synthetic substrates

Tracer material	Composition		Conc. (mg/l)
COD source	Soluble starch	5g/10 l	- COD _{Cr} : 1,000 - T-N : 120 - PO ₄ ³⁻ -P : 20
	Peptone	3g/10 l	
	Beef extract	1g/10 l	
COD & N source	1N CH ₃ COONH ₄	50ml/10 l	
N & Alk. source	1N NH ₄ HCO ₃	10ml/10 l	
Alk. source	0.5N NaHCO ₃	50ml/10 l	
P & Buffer source	Phosphate buffer solution	20ml/10 l	
Mineral source	CaCl ₂	22.5mg/l	
	MgSO ₄	27.5mg/l	
	FeCl ₂	0.14mg/l	

* Phosphate buffer was based on the Standard Method(18th Ed., 1992).

연속회분식 반응기(Sequencing Batch Reactor)에서 유기물, 질소 및 인의 거동에 관한 연구

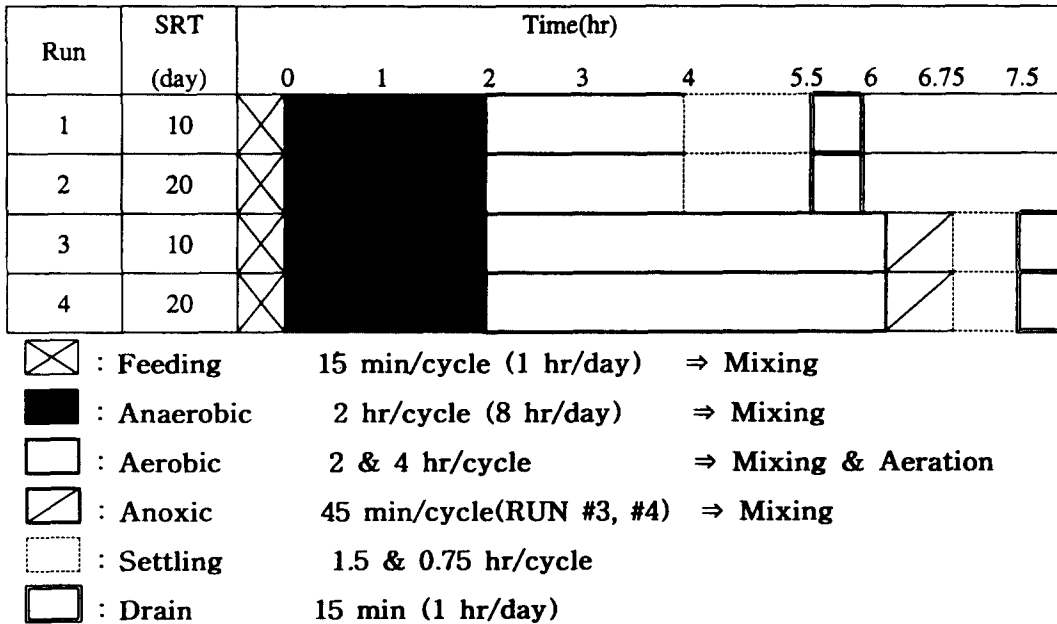


Fig. 2. Operational schedules for SBR plants in one cycle.

2.2 반응기 운전조건

사용한 기질은 합성폐수를 사용하였으며 제한 기질의 C : N : P는 COD_{Cr}값으로 하여 100 : 12 : 2로 조절하여 유입하였으며, 합성 기질의 조성은 Table 1에 나타내었다.

Fig. 2는 SBR의 운전계획을 나타낸 것이다. SBR은 6시간을 한 cycle로 하여 하루에 4cycle을 하는 경우(RUN #1, #2)와 8시간을 한 cycle로 하는 두 경우(RUN #3, #4)로 나누어 운전하였다. 6시간을 한 cycle로 하는 운전을 선행한 후 8시간을 한 cycle로 하는 운전으로 이어졌다. RUN #1, #3은 SRT를 각각 10일로, RUN #2, #4은 각각 20일로 운전하면서 질소, 인 및 유기물의 거동을 관찰하였다. 원폐수는 혐기상태하에서 15분 내에 주입 되도록 하였고, RUN #1과 #2는 혐기 2시간 후에 호기 2시간을 유지하였으며, RUN #3와 #4는 혐기 2시간 후에 호기 4시간을 유지시켰다. 또한 RUN #3, #4는 호기조건이 끝난 후에 탈질산화 정도를 높이기 위해 45분간의 무산소(anoxic)상태로 하였다. 반응완료 후 슬러지를 침전시켜 유입 폐수량과 같은 양인 2l의 상등액을 제거하였으며, 상등액 제거시간 또한 유입시간과 동일한 15분으로 조절하였다. 따라서 최대 반응액량은 6l이며, 최소 반

응액량은 4l가 되도록 하였다.

모든 실험에 사용된 슬러지는 부산시 노포동에 소재한 (주)부산우유에서 발생하는 반송슬러지를 이용하였으며, 반응기내 초기 MLVSS는 두 반응기 모두 3,000 mg/l을 기준으로 투입하였다. 그리고 반응기의 SRT를 조절하기 위해 침전이 시작되기 직전에 RUN #1 및 #3의 반응기에서 인출시킨 1일 누적 혼합액량은 각각 600ml, RUN #2 및 #4에서 300ml로 설정하였다. 각 반응상태는 폭기기와 교반기로 조절하였으며, 호기조건하에서의 DO는 3~5mg/l, 혐기조건하에서는 zero상태를 유지시켰다.

본 연구에서 PO₄³⁻-P, NO₂⁻-N, NO₃⁻-N는 Ion Chromatography(Model: waters 431)로 분석하였고, COD_{Cr}, TKN, NH₄⁺-N, MLSS, MLVSS등은 Standard Methods (1992)에 의해 분석을 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 DO의 거동

SBR 운전개시 후 280 cycle이 경과한 RUN #1, #2의 한 cycle에 대한 반응기 내의 DO변화를 Fig. 3에 나타내었다. 호기성 조건이 끝나고 침전단계 및 혐기성 조건에서 두 반응기 모

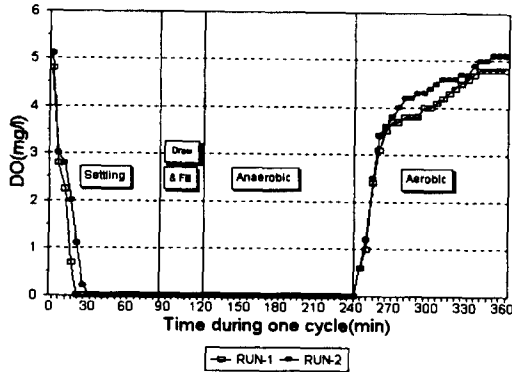


Fig. 3. Variation of DO concentration with operating time in a cycle (RUN #1, #2).

두 DO가 거의 0mg/l 상태로 유지되고 있음을 볼 때 각 단계별 운전이 적절한 DO상태에서 운전되고 있음을 알 수 있다. 그리고 혐기조건이 끝나고 산기기에 의해 공기가 공급되는 호기조건에서도 20분내에 DO가 3mg/l 이상이 되어 질산화 및 인의 섭취에 산소가 방해요소로 작용하지 않고 있다는 것을 알 수 있다.

3.2 유기물의 거동

Fig. 4는 1 cycle 내의 COD_{Cr}의 변화를 나타낸 것이다. RUN #1, #2는 운전개시 후 11주째의 결과를 나타낸 것이고, RUN #3, #4는 운전개시 후 5주째의 결과를 나타낸 것이다. SRT 10일과 20일로 설정한 RUN #1과 RUN #2의 MLSS 농도는 운전개시 280 cycle 후부터는 각각 약 4,700mg/l (MLVSS는 4,000mg/l), 8,500mg/l (MLVSS는 7,080mg/l)로 안정되어 유지되었다. 이 때 RUN #1 및 RUN #2의 F/M비는 각각 0.33 gCOD_{Cr}/gVSS/d 및 0.19 gCOD_{Cr}/gVSS/d로 운전되었다. 처리수의 용해성 COD_{Cr}은 운전개시 초기부터 30mg/l 이하로 유지되었다. 따라서 유입수에 대한 COD_{Cr} 제거율은 97% 이상으로 나타났으며, 처리수중의 SS농도도 30mg/l 이하로 비교적 양호하게 유지되었다.

혐기조건 하에서 한 cycle이 시작되며, 시작과 동시에 COD_{Cr} 약 1,000mg/l의 합성폐수 2l가 15분 동안에 유입된다. 따라서 이 때

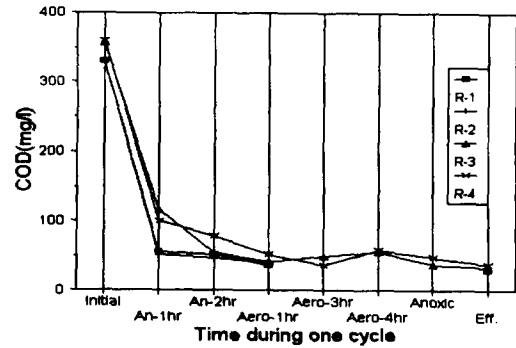


Fig. 4. Temporal profiles of COD_{Cr} within one cycle period (RUN #1, #2, #3, #4).

아무런 반응이 없었다고 가정하고, 반응기내에 남아있는 COD_{Cr}값인 30mg/l 고려하면 15분 후 반응액의 COD_{Cr}은 약 353mg/l로 계산된다. 따라서 Fig. 4의 초기값은 15분에서의 계산치를 의미하고 있다. 그러나 이 때의 실측 COD_{Cr}은 120~137mg/l였으므로 약 60%의 COD_{Cr}이 15분 동안에 제거되었으며 혐기조건 2시간내에 85%~90%의 COD_{Cr}이 제거되었다. 질산화와 탈질효과를 고려한 RUN #3, #4에서도 이와 유사한 경향을 보였다. 따라서 유입된 COD_{Cr}의 대부분은 혐기공정에서 거의 제거되고 나머지 일부가 계속되는 호기공정에서 제거되었다고 볼 수 있다. 혐기공정에서 제거된 COD_{Cr} 중 극히 일부는 cycle 시작 초기 반응액 속에 잔류하고 있던 NO_x-N의 탈질에 이용되었거나 미생물로 전환되었을 것이다. 그러나 이 때 제거된 대부분의 COD_{Cr}은 인방출과는 무관한 생물학적 요인에 의하여 세포내로 전달되어 축적 및 저장된 것으로 생각된다.

그 이유는 본 연구를 통하여 혐기조건에서 제거된 COD_{Cr}은 RUN #1과 RUN #2에서 제거율이 약 87%인 1,842mg였으며, RUN #3과 #4에서는 그 제거율이 약 80%인 1,474mg이었다. 그리고 운전조건별 인방출량은 RUN #1, RUN #2, RUN #3 및 RUN #4에서 각각 354mg, 369mg, 120mg 및 240mg이었기 때문에 COD_{Cr} 제거량당 인방출량의 비가 RUN #1에서 약 0.19, RUN #2에서는 약 0.21, RUN #3에서 0.06 그리고 RUN #4에서는 약 0.12로 나타나 RUN #1, #2 보다 훨씬 낮은 값을 보이고 있다. 따라서 RUN #3, #4와 같은

조건에서 혐기적으로 제거되는 COD_{Cr}은 위에서 설명한 바와 같이 대부분 혐기조건하에서 인방출에 관여한다기 보다는 미생물의 생물학적 반응기작에 의해 더 많은 COD_{Cr}이 제거되고 있다는 사실을 유추할 수 있다.

한편 호기적인 조건에서 COD_{Cr}은 운전조건에 관계없이 모두 매우 완만하게 감소하고 있는 경향을 보였다. 따라서 호기적인 조건에서는 혐기적인 조건에서 축적·저장된 세포내의 유기물을 산화하고 대사하는 과정으로 이해된다. 이 때 유입된 유기탄소원이 생물학적으로 분해가 잘되는 용해성 전분과 펩톤인 점, 그리고 SRT, F/M비 등의 운전조건에 비추어 볼 때 액상에 남아있는 생물학적으로 분해 가능한 COD_{Cr}은 대부분이 미생물의 사멸과 용해에 따른 용해성이거나 난분해성 유기물에 의한 것으로 추측된다.

3.3 운전기간에 따른 인의 거동

Fig. 5에서 보는 바와 같이 RUN #1과 #2는

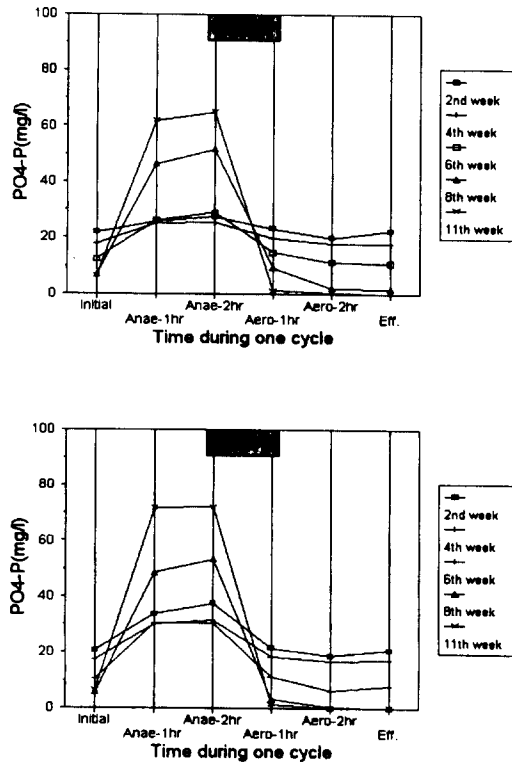


Fig. 5. Phosphorus uptake and release within a cycle according to the operating periods(RUN #1, #2).

SBR 운전개시 후 cycle 회수가 증가함에 따라 점진적으로 혐기적인 인방출과 호기적인 인섭취량이 증가하였다. 8주가 경과한 다음부터 인방출과 섭취 양상은 인제거 공정에서 볼 수 있는 전형적인 모습과 같다. 이 때부터 유입되는 PO₄³⁻-P는 거의 100% 제거되었으며, 슬러지 중의 인함유율은 다음과 같이 계산될 수 있다. 매일 20mg/l의 인이 8l 공급되므로 하루에 공급되는 인의 총량이 160mg/day이 된다. 이것이 100% 제거되었다고 가정하고, SRT 조절을 위해 RUN #1과 #2 반응조로부터 혼합액 배출량과 MLSS농도가 각각 600ml/day, 300ml/day 및 4,700mg/l, 8,500mg/l 그리고 유출수의 SS농도가 약 30mg/l이므로 매일 배출되는 총 슬러지량은 RUN #1, #2에서 각각 2,940mg, 2,670mg이다. 따라서 각각의 슬러지 중의 인함유율은 적어도 RUN #1에서 5.4%, RUN #2에서 6.0% 이상이 될 것이다.

RUN#1과 #2에서 계산상 방출 가능한 인은

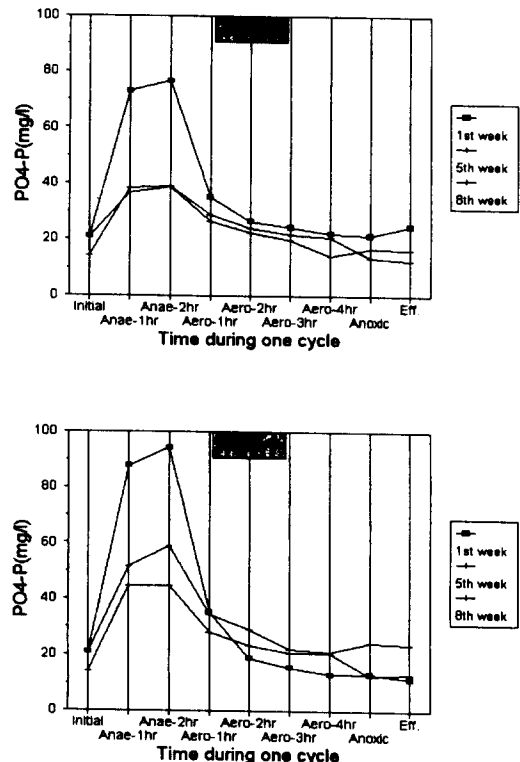


Fig. 6. Phosphorus uptake and release within a cycle according to the operating periods(RUN #3, #4).

각각 254mg/l 와 510mg/l 이다. 그럼에도 불구하고 실제 11주가 경과한 결과에 의하면 혐기 2시간 동안에 방출된 인의 농도는 PO_4^{3-} -P로서 RUN #1에서 59mg/l, RUN #2에서 66mg/l 에 불과하였다. 활성슬러지내에는 여러 형태의 인이 존재하지만 혐기공정에서 방출되지 않는 인이 약 2% 정도 함유되어 있으므로 방출 가능한 인은 RUN #1, #2에서 각각 3.4%와 4.0%인 160mg/l 와 340mg/l 이 될 것이다. 따라서 본 연구에서 실제 방출된 인은 RUN #1과 #2에서 36.9%와 19.4%에 불과하였다. 그러므로 RUN #1과 #2의 혐기공정에서 방출가능한 인은 전부 방출되지 못하고 일부만 방출되었음을 알 수 있다. 또한 위의 결과로부터 단위미생물량당 인방출 속도는 방출 가능한 인함유율뿐만아니라 단위미생물량당 유기탄소 부하량에도 깊이 관여하고 있음을 시사하는 결과이다.

혐기조건 2시간 동안 방출된 PO_4^{3-} -P와 기질과 함께 유입된 PO_4^{3-} -P는 계속되는 호기조건 2시간 동안에 거의 100% 섭취되었다. 따라서 RUN #1과 #2는 혐기시의 인방출이 19.4~36.9%에 불과하였음에도 전체적인 인제거는 양호하였다. 그러나 SRT가 큰 RUN #2는 MLSS가 과도하게 높았기 때문에 고액분리 등의 운전상 곤란이 발생할 위험성이 상대적으로 높다. 그러므로 RUN #1과 같은 운전조건이라면 인과 유기물 제거는 양호하게 이루어질 것으로 생각된다.

한편 Fig. 6에서 보는 바와 같이 RUN #1과 RUN #2를 316cycle 반복한 후, 유기물과 질소화합물의 산화와 탈질효과를 높이기 위해 호기시간을 4시간으로 하고 그 후 45분간의 무산소 조건을 설정한 RUN #3과 RUN #4로 전환하였으나 운전 cycle이 증가할수록 인방출량과 섭취량이 감소하는 경향을 보였다. 8주째 결과로부터 혐기 2시간 동안 MLSS당 인방출량은 RUN #3, #4 모두 약 0.65%에 머물렀다.

따라서 RUN #3, #4에서 인방출이 불량해진 것은 단순히 MLSS가 줄었기 때문이라기 보다는 인을 축적할 수 있는 능력을 가진 미생물이 선택적으로 해체되어 유출되었기 때문이라고 추정된다. 그래서 운전초기에는 계속되는 호기과정에서도 인의 과잉 섭취현상이 거의

나타나지 않아 처리수 중의 인농도는 오히려 유입수 중의 인농도 보다 더 높게 측정되기도 하였다.

따라서 SBR을 장기간 운전하거나, 운전조건을 바꾸어야 할 때에 대비하여 이러한 슬러지해체현상의 원인은 반드시 밝혀져야 할 것으로 생각된다.

3.4 운전기간에 따른 질소의 거동

Fig. 7은 RUN #1, #2의 1 cycle 동안 암모니아성 질소 변화를, 그리고 Fig. 8과 9는 각각 NO_2^- -N과 NO_3^- -N의 변화를 나타낸 것이다. Fig. 7에서 회분반응 개시후 운전회수가 증가함에 따라 NH_4^+ -N은 일관성이 없으나 대체로 증가하는 경향을 보이고 있다. 1 cycle 중 초기의 혐기 2시간 동안에는 NH_4^+ -N은 증가하고, 계속되는 호기조건에서 감소하는 경향을 보였다. 혐기조건에서 NH_4^+ -N이 증가하는 것은 펌프 중의 유기질소가 암모니아로 되었기 때문으로 보여진다. 또 호기조건에서 NH_4^+ -N이 감소

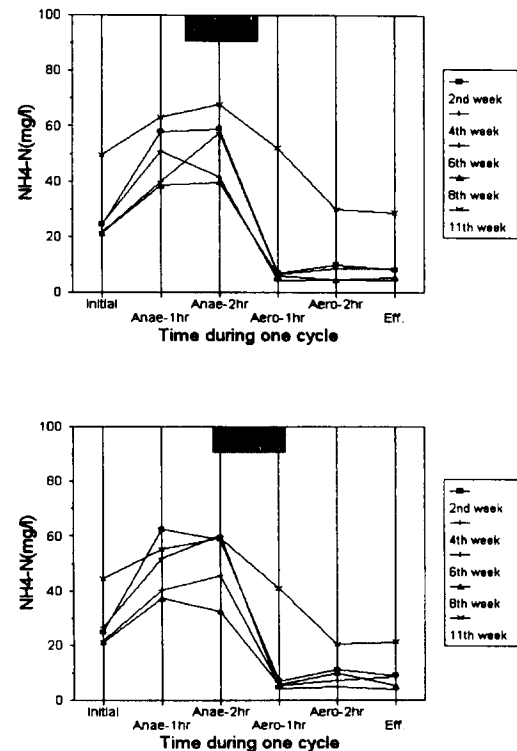


Fig. 7. Temporal variation of NH_4^+ -N within a cycle according to the operating periods(RUN #1, #2).

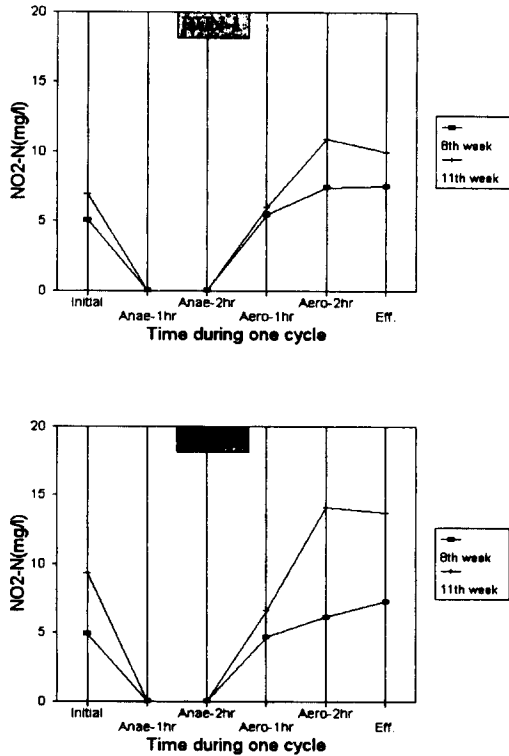


Fig. 8. Temporal variation of NO_2^- -N within a cycle according to the operating periods(RUN #1, #2).

하는 것은 질산화와 세포합성에 기인한 것이다.

Fig. 8과 9를 비교하면 NO_2^- -N이 NO_3^- -N보다 높게 나타나고 있는데 이는 NO_2^- -N가 NO_3^- -N으로 산화되는데 필요한 조건이 성숙되지 못했을 경우로써 호기시간이 짧아 산화되지 못한 NH_4^+ -N에 의한 *Nitrobacter*의 성장조건이 억제되는 등으로 인해 NO_2^- -N이 축적되고 있는 것으로 생각된다(Alleman, 1984; Balmelle et al., 1992).

또한 합성폐수 주입 완료시점인 혐기조건 15분 후 NO_2^- -N와 NO_3^- -N 농도가 zero 상태로 유지되는 것은 혐기조건이 시작되는 초기에는 무산소(anoxic)조건이 조성되어 이때 대부분이 탈질화되고 있다는 것을 알 수 있다.

질산화율을 높이기 위해 호기시간 연장 및 호기조건 후 무산소 조건을 부여한 RUN #3, #4의 경우, Fig. 10에서 보는 바와 같이 혐기 조건에서의 NH_4^+ -N는 원폐수 주입 후 일정하

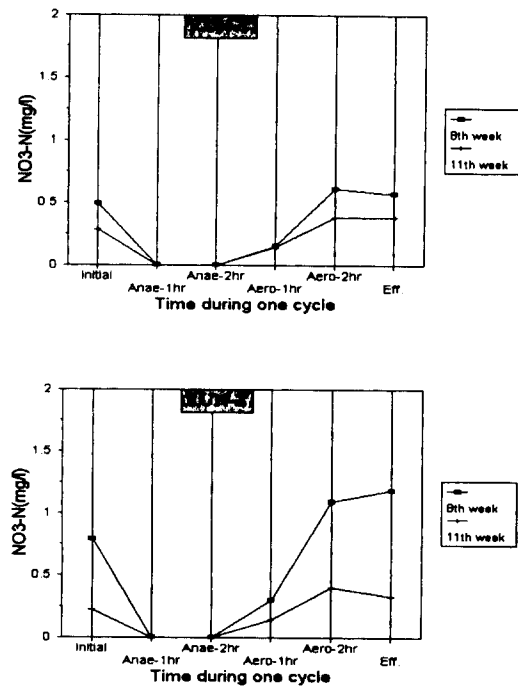


Fig. 9. Temporal variation of NO_3^- -N within a cycle according to the operating periods(RUN #1, #2).

게 유지되다가 폭기가 시작되면서 질산화에 의해 감소하기 시작한다. 호기 조건 4시간 후에 NH_4^+ -N의 제거율은 거의 90%에 이른다. 이는 앞의 경우보다 호기시간 연장으로 인해 질산화에 더 좋은 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

또 혐기조건시 거의 0이던 NO_2^- -N은 폭기가 시작되면서 질산화로 인하여 급격한 농도의 증가를 보여준다(Fig. 11). 그러나 NO_3^- -N으로의 전환율은 2%미만으로 아주 낮게 나타나고 있어 호기시간을 증가시켜도 NO_3^- -N의 증가는 앞의 RUN #1, #2와 마찬가지로 일어나지 않고 NO_2^- -N 상태로 축적현상(Alleman., 1984; Balmelle et al., 1992)을 보이고 있어 이에 대한 차후 연구가 필요할 것으로 생각된다. 탈질을 유도하기 위해 45분간의 무산소 조건을 설정하였으나 탈질속도는 매우 느렸다. 이것은 탈질에 필요한 유기탄소원의 부족때문인 것으로 생각된다. 그래서 5주째에는 4시간의 호기공정이 완료된 anoxic 조건 초기에 탈질에 필요한 유기탄소원을 공급해 보았다. 그 결과 유기탄소원을 주입한 cycle의 anoxic 상태에서

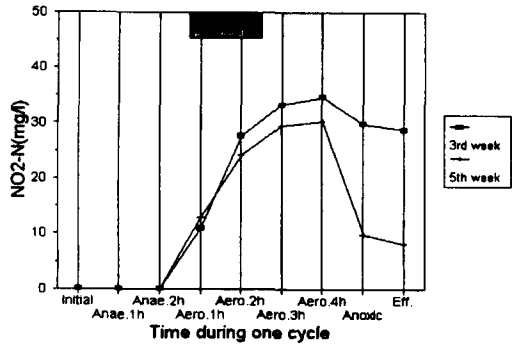
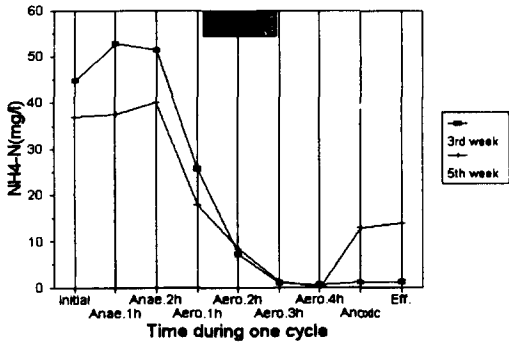
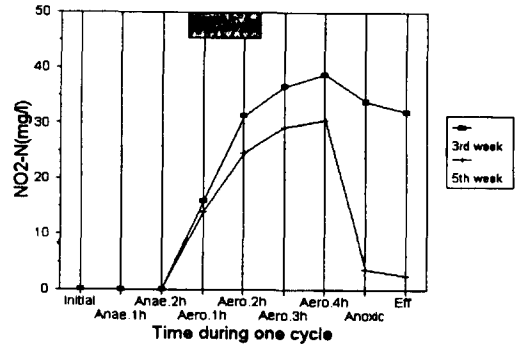
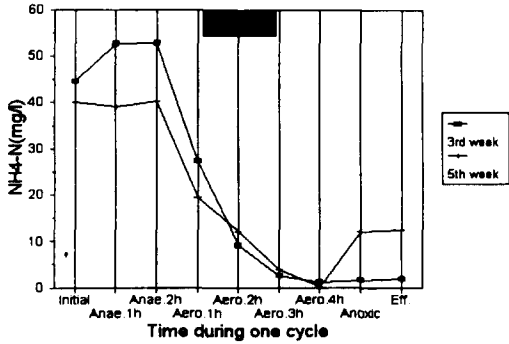


Fig. 10. Temporal variation of $\text{NH}_4^+\text{-N}$ within a cycle according to the operating periods(RUN #3, #4).

Fig. 11. Temporal variation of $\text{NO}_2^-\text{-N}$ within a cycle according to the operating periods(RUN #3, #4).

탈질이 증가되어 $\text{NO}_2^-\text{-N}$ 이 현저히 감소되었다.

따라서 SBR에서 탈질효과를 높이려면 유기탄소원을 원활하게 공급할 수 있는 방안을 검토하지 않으면 안된다. 그리고 RUN #3 및 #4의 자료를 비교해 볼 때 SRT에 의한 영향은 크게 나타나지 않았다.

4. 결 론

합성폐수를 사용한 연속회분 반응기를 운전한 결과 다음과 같은 결론과 문제점을 발견하였다. 1) 본 연구에서 설정한 운전조건에서 합성폐수 중의 유기물은 전반적으로 96% 이상 제거되었다. 또한 슬러지의 침강성도 매우 양호하였다. 따라서 유기물 제거가 주목적인 소규모 시설은 SBR을 사용해도 쉽게 목적을 달성할 수 있을 것으로 생각된다.

2) 본 연구에 사용된 합성폐수 중의 $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 는 혐기 2시간, 호기 2시간, 총 6시간을 한

cycle로 했을 때 거의 완벽하게 제거되었으나 Kjeldahl-N의 질산화는 원활하지 못하였다. SRT를 20일로 설정한 운전조건에서 MLSS가 8,500mg/l로 유지되었다. 따라서 슬러지 침강성이 불량해지면 SBR 운전자체가 불가능해질 우려가 있다. 따라서 SRT를 적절하게 조정할 필요가 있음을 확인하였다.

3) 한 cycle을 8시간으로 설정하여 운전한 SBR에서 질산화는 원활하게 이루어졌으나, 탈질은 기대만큼 이루어지지 않았다. 따라서 탈질효과를 높이기 위하여 유기탄소원을 별도로 공급해야 할 필요성을 확인하였다.

4) 한 cycle을 8시간으로 설정하여 운전한 SBR에서 아질산성 질소의 축적현상이 두드러졌으며, 슬러지 해체현상과 더불어 인의 혐기적 방출과 호기적 섭취현상도 사라져 인 제거도 불가능하였다. 이러한 결과에 대하여 보다 면밀한 검토가 필요하다고 생각된다. 또 아질산성 질소에서 직접 탈질을 유도할 수 있는 방

연속회분식 반응기(Sequencing Batch Reactor)에서 유기물, 질소 및 인의 거동에 관한 연구

안에 대해서도 연구할 가치가 있다고 생각된다.

참 고 문 헌

- 박동근, 1989, 혐기·호기 회분식 활성슬러지법에 관한 기초적 연구, 일본경도대학 학위논문.
- 박동근 외, 1993, 기질공급방식에 의한 연속회분 활성슬러지법의 특성에 관한 연구, 화학공학회지, 31(2), 137-143.
- 박동근, 1994, 슬러지 순화조건과 접촉부하가 혐기상태에서 인과 유기물의 거동에 미치는 연구, 한국환경과학회지, 3(4), 427-437.
- Arora, M.L., Barth, E.F. and M.B. Umphres, 1985 Technology evaluation of sequencing batch reactors, *JWPCF*, 57, 807.
- Alleman, J.E., 1984, Elevated nitrite occurrence in biological wastewater treatment systems," *Wat. Sci. & Tech.*, 17, 409-419.
- Balmelle. B., *et al.*, 1992, Study of factors controlling nitrite build-up in biological processes for water citrification, *Wat. Sci. & Tech.*, 26(5/6), 1017-1025.
- Barnard, J.L., 1975, Nutrient removal in biological systems, *Wat. Pollut. Control*, 74(2), 143-154.
- Barnard, J.L., 1976, A review of biological phosphorus removal in the activated sludge process, *Water SA.*, 2, 136.
- CH2M Hill, 1986, Fayetteville, pilot plant study final report, Prepared for the City of Fayetteville, Alkansas.
- Ekama, G.A. *et al.*, 1983, Consideration in the process design of nutrient removal activated sludge processes, *Wat. Sci. & Tech.*, 15, 283-318.
- McLaren, M.G. and R.J. Wood, 1976, Effective phosphorus removal from sewage by biological means, *Water S. A.*, 2(1), 47-50.
- Osborn, D.W. and H.A. Nicholls, 1977, Optimization of the activated sludge process for the biological removal of phosphorus, IAWPRC. on Advanced Treatment and Reclamation of Wastewater, Johannesburg, *Prog. Wat. Tech.* 10(1/2), 261-277.
- Siebritz, I.P., G.A. Ekama and B.W. Marais, 1983, A parametric model for biological excess phosphorus removal, *Water Sci. & Tech.*, 15(3/4), 127-152.
- Wentzel, M.C., G.A. Ekama and G.V.R. Marais, 1992, Processes and modeling of nitrification denitrification biological phosphorus removal systems - A review, *Wat. Sci. Tech.*, 25(6), 59-82.
- Standard Method 18th Ed., 1992.