

# SBR을 이용한 축산폐수의 질소 제거

## Nitrogen Removal in Livestock Wastewater Using Sequencing Batch Reactor

신항식\* · 김구용\*\* · 이상형\*\*\* · 임재림\*\*\*

Shin, Hang-Sik · Kim, Ku-Yong · Lee, Sang-Hyung · Lim, Jae-Lim

### Abstract

A new process which consists of pre-dewatering device, post composting for solid phase and post sequencing batch reactor(SBR) for liquid phase was designed. Nitrogen in supernatants of dewatering device was removed by sequencing batch reactor. Experiments were carried out to investigate the SBR operation modes such as fill ratio, SRT, and operation cycle. The optimum fill ratio, SRT and aeration/non-aeration time were 1/12, 15days, and 2hr aeration / 1hr non aeration, respectively. Methanol as an external carbon source increased denitrification when step feeding method was applied, not single feeding method.

**Keywords** : Livestock wastewater, Sequencing batch reactor, Nitrogen removal, Step feeding

### 요 지

축산폐수를 처리 시 우선 탈수 후 고상은 퇴비화, 액상을 연속회분식반응기(Sequencing batch reactor, SBR)로 이용하여 처리하는 시스템을 구상하였다. 영양염류 제거를 위한 SBR 공정의 안정적인 운전을 위한 운전모드 결정 실험을 수행하였다. K시 공공축산폐수처리장의 원심분리기에서 나온 유출수를 사용한 실험에서 질소를 제거하기 위한 적정 fill ratio는 1/12, SRT는 15일, 폭기/비폭기 주기는 2시간/1시간이었다. 탈질을 위하여 주입한 외부탄소원으로는 메탄올을 사용하였고 single feeding 방법과 step feeding 방법을 사용하였다. 이 결과 step feeding 방법을 사용시 더 효과적으로 유기물을 사용 탈질효율을 증가시킬 수 있었다.

**주요어** : 축산폐수, SBR, 질소처리, Step feeding

\* 정회원, 한국과학기술원 건설및환경공학과 교수

\*\* 한국과학기술원 대학원 건설및환경공학과 박사과정

\*\*\* 한국과학기술원 대학원 건설및환경공학과 PostDoc

## 1. 서론

우리나라의 경우 많은 도시들이 상수원으로 댐이나 호수를 이용하고 있으며, 최근 문화수준 향상에 따른 양질의 상수공급에 대한 시민들의 욕구가 날로 증가하고 있다. 또한 하천수질은 하천수의 이용에 큰 영향을 주는데, 이는 상수의 맛과 상수 생산비를 좌우할 뿐 아니라, 국민건강에도 직접적인 영향을 미친다. 그러나, 경제개발과 더불어 하천 오염도가 증가하였고, 특히 질소와 인과 같은 영양염류물질이 하천이나 호소로 유입할 경우 부영양화의 원인이 되며, 수중의 산소를 고갈시켜 수중생물에 크게 영향을 주기도 한다. 하천이나 호소에서 질소와 인의 주 오염원은 인접된 중소도시에서 유입되는 도시 및 산업폐수와 수계내에 위치한 목장 및 축산단지로부터 유입되는 축산폐수 등이다. 특히, 축산폐수는 다량의 유기물 및 영양염류를 함유하고 있어 비록 소규모라 할지라도 하천오염에 크게 영향을 미치게 된다. 하지만 이들 축산폐수는 규모가 작고 축산업자의 영세성 때문에 처리상의 많은 문제점이 있다.

축산분뇨는 화력건조법, 자연건조법등의 건조처리법, 퇴비화 방법, 액상의 부숙 처리법 등을 이용하여 처리해 왔다. 일부 대규모 축산단지에서는 축산폐기물을 혐기성 소화시켜 메탄가스를 얻기도 한다. 영양염류에 대한 규제가 시작되기 전까지, 축산폐수처리는 유기물의 저장에 그 목적을 두었다. 국내 축산폐수처리에는 일반적으로 호기성 생물학적 처리법(Activated Sludge Process)을 많이 사용하고 있지만, 축산폐수는 그 발생원, 수거방법 등에 따라서 성상이 달라질 뿐만 아니라 고농도 폐수이기 때문에 그 처리방법을 선정하는데 있어서도 어려움이 있다. 또한 활성슬러지 공법은 유기물 제거를 위해 설계된 처리 방법으로 1996년 축산폐수의 방류수 수질기준에 영양염류가 포함됨에 따라 이 공법은 변경되어야만 한다. 2000년 1월 1일부터 시행된 『오수·분뇨 및 축산폐수의 처리에 관한 법률』 시행규칙에 따르면 특정지역내의 축산폐수배출시설은 BOD 50mg/L, SS 50mg/L, T-N 260mg/L, T-P 50mg/L 이하의 배출을 허용하고 있다. 또한 축산폐수공공처리시설의 경우 BOD 30mg/L, COD 50mg/L, SS 30mg/L, T-N 60mg/L, T-P 8mg/L로 매우 엄격하다.

따라서, 영양염류의 제거를 위하여 기존의 활성슬러지 공법과는 다른 생물학적 영양염류 제거기술(BNR : Biological Nutrients Removal)의 적용이 필요한 실정

이다. 이러한 생물학적 영양염류 제거기술은 혐기조, 무산소조, 호기조등이 공간적으로 분리되어 있다. 연속회분식 반응기(SBR : Sequencing Batch Reactor)는 단일 반응조에서 유기물 제거뿐만 아니라 질산화와 탈질이 이루어지기 때문에 내부반송과 같은 시설이 필요 없어 시설비 절감효과를 노릴 수 있고, 또한 운전방법에 따라서 원수를 탈질 시 기질로 충분히 활용할 수 있기 때문에 외부기질 비용면에 있어서도 경제적이다. 그리고 축산폐수에 의한 충격 부하에 적응하는 능력도 우수하며, 발생량이 갑자기 줄었을 때에는 조의 일부분만을 사용하기 때문에 폭기비용을 줄일 수 있고 슬러지 반응이 필요없다는 점에서 볼 때 경제적이다. 또한 운전상의 유연성이 있다는 장점이 있다. 또한 SBR 공정은 국내·외에서 소규모 하수처리장의 영양염류 제거 공정으로 가장 효과적인 공정으로 인식되어 있으며, 이미 국내에서도 고도처리를 위하여 현재 많이 사용되고 있는 공정이다.

공공 축산폐수처리장의 경우 엄격한 방류수 수질 기준으로 인하여 다양한 생물학적, 물리화학적 공정을 이용하고 있다. K시 축산폐수처리장의 경우 3개의 생물학적 공정을 포함하여 17종의 공정을 이용하고 있다. 그러나 소규모 축산폐수처리장에 십여종이 넘는 처리시설을 갖추기는 현실적으로 힘들다. 축산폐수처리 현황을 살펴보면 공공처리시설(7,500톤/일), 간이축산폐수처리시설(1,005톤/일) 등 공공처리시설에서 처리되는 폐수량은 전체의 1998년 2.0%인 3,965톤/일에 불과하던 것이 2001년 전체의 6.8% 8,505톤/일로 증가하였고 계속 처리장이 증설 중이다(환경부, 2002). 그러나 아직까지 그 양이 미미한 수준이고 규제미만 축산농가에서 발생하는 축산폐수 중 62,061톤은 자체 자원화하거나 미처리 방류되고 있다(환경부, 1998).

본 연구에서는 소규모 축산폐수처리시설을 대상으로 처리시설을 간략화 시키기 위한 공정을 고안하였다. 축산폐수를 우선 탈수한 후 고형물은 퇴비화 공정을 이용하여 처리하고 액상 부분은 SBR공정을 사용하여 처리·방류하는 시스템은 간략하지만 효과적으로 축산폐수를 처리할 수 있을 것으로 예상된다. 현재 국내에서는 기타 여러 공정을 사용하여 축산폐수를 처리하기 위하여 실험실 규모의 실험이 시행되고 있다. SBR의 경우 아직 실험실 규모의 실험을 통하여 적정 운전인자를 찾아내고 있는 단계이다(권오상, 2000). 본 연구에서는 탈수된 축산폐수를 SBR을 이용하

여 처리 시 질소제거에 초점을 맞추어 안정적으로 반응조를 운전하기 위한 Fill ratio, SRT, feeding type 등 최적 SBR 운전 방식을 모색하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험방법

#### 2.1.1 실험 장치

실험에 사용한 회분식 반응기는 아크릴을 이용하여 3개 조로 제작하였으며 Working volume은 3L, total volume은 3.5L로 구성하였다. 반응기의 개략도는 그림 1과 같다. 유입수는 정량펌프를 이용하여 주입하였고, 외부탄소원의 경우 주입시간에 맞추어 수동으로 주입하였다. 운전기간동안 실온이 20℃이하로 떨어지지 않도록 유지하였다. 반응조내의 산소공급은 산기석을 이용하였고 폭기기간동안 DO농도가 4.0mg/L 이상 유지하도록 공기를 공급하였다. On/Off timer를 이용하여 산소공급장치를 제어로서 폭기/비폭기 시간을 조절하였다. 100rpm의 교반강도를 유지하여 완전혼합을 유도하였고 1.5시간의 침전 후 슬레노이드 밸브를 이용하여 상등수를 배출하였다.

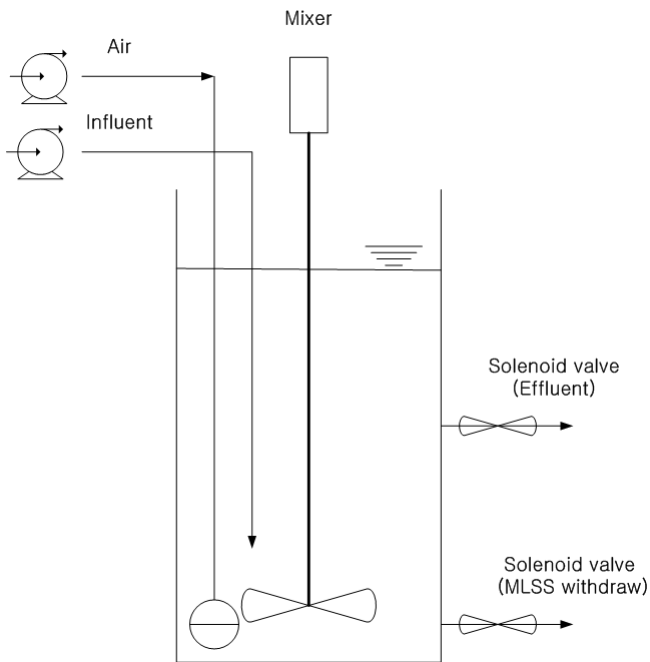


그림 1. SBR 반응조 모식도

#### 2.1.2 실험 재료

실험을 위하여 사용된 폐수는 K시 공공 축산폐수처리장에서 채취되었다. 전술한 바와 같이 탈수된 축산폐수를 처리하기 위하여 원심분리기를 사용하여 탈수한 폐수를 채취하여 실험하였다.

#### 2.1.3 실험 방법

탈수된 축산폐수의 특성을 살펴보기 위하여 원수를 분석하였다. 이때 원수의 생분해도를 측정하기 위하여 OUR (Oxygen uptake rate) 실험을 실시 하였다. 그리고 축산폐수내의 유기물과 질소성분을 안정적으로 제거하기 위한 최적 SBR 운전방식을 도출하고자 운전의 주요인자인 fill ratio, 폭기/비폭기 주기, SRT 그리고 외부탄소원 주입 방식에 대하여 평가하였다.

Fill ratio는 1/4, 1/8, 1/12에 대하여 실험을 수행하였다. 전통적인 fill ratio의 의미보다는 폐수가 주입되어 희석되어지는 질소 농도에 초점을 맞추었다. 축산폐수 원심분리수의 TKN농도는 약 1,400mg/L로 각각의 fill ratio의 경우 유입되면 350, 200, 110mgN/L로 희석된다. 고농도의 질소를 제거하여야 하기 때문에 탈질을 위한 탄소원 및 알칼리도의 부족을 고려하여 간헐폭기 방식으로 운전하였다. HRT는 24시간으로 고정하였으며, 폭기/비폭기시간(Ox/An)은 1시간/1시간을 이용하였으며 외부탄소원은 추가로 넣어주지 않았다.

폭기/비폭기 주기 실험은 폭기/비폭기 시간을 1시간/1시간, 1.5시간/1시간, 2시간/1시간의 시간비에 대하여 평가하였다. 탈질을 유도하기 위하여 외부탄소원으로 메탄올(CH<sub>3</sub>OH)을 사용하였고 원수와 같이 주입하였다.

SRT에 대한 영향을 평가하기 위하여 5, 10, 15일에 대하여 운전을 실시하였다. SRT 조절을 위하여 원수 주입 전 완전혼합을 시킨 후 해당하는 부피의 MLSS를 채취하였다.

탈질에 필요한 외부탄소원을 효율적으로 사용하기 위하여 step feeding 방법을 사용하여 질소제거효율을 평가하였다.

#### 2.1.4 분석 방법

반응조의 운전 상태를 평가하기 위하여 COD, 질소, 고형물질, pH등을 측정하였다. COD는 dichromate reflux method를 사용하였고, 질산염은 Ion Chromatography (Dionex DX-120)를 이용하여 측정하였다. 그 외의 방법

은 Standard Method(APHA, 1992)에 준하여 실험을 수행하였다.

## 2.2 결과 및 고찰

### 2.2.1 원수 분석 결과

표 1은 원수 측정 결과를 나타낸 것이다. 탈수된 축산폐수의 생분해가능한 유기물을 측정하기 위하여 호기성회분식 실험인 OUR을 측정한 결과는 그림 2와 같다. 측정 결과 생분해가능한 유기물의 양이 전체 COD중에 7.5%로 매우 낮은 상태였다. 따라서 탈질을 위하여 추가적인 유기물이 필요하였다. 그러나 표 1에 표시된 바와 같이 COD와 BOD의 값은 탈수시 사용된 응집침전제의 영향으로 매우 큰 폭의 변화를 보임을 알 수 있었다.

표 1. K시 공공축산폐수처리장 원심분리수의 수질특성(Unit: mg/L)

Component	K시 공공축산폐수처리장 원심분리수	
	Range	Average
TCOD	5,000-7,000	5,900
SCOD	4,500-6,500	5,300
BOD	500 - 200	650
TKN	1,300-1,800	1,420
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,000-1,700	1,270
pH	8.00-8.35	8.30
Alkalinity	4,000-5,500	4,800
SS	500-1,000	700
VSS	370-700	500

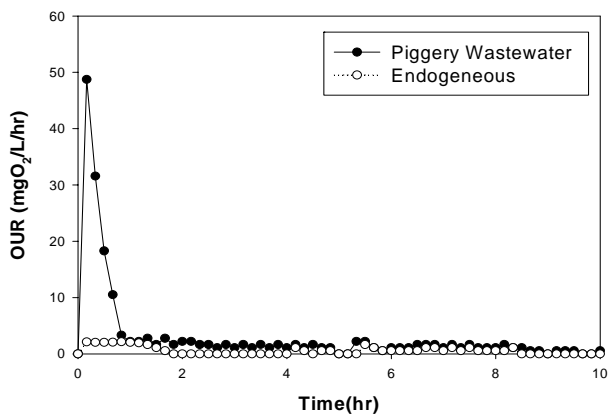


그림 2. Respirometer를 이용한 K시 공공축산폐수처리장 원심분리수의 Oxygen uptake rate

질소의 경우 TKN이 1420mgN/L, 암모니아 89.4%로 암모니아성 질소가 대부분이었고 유기성 질소는 약 10.5%정도였다. 또한 질산염과 아질산염은 검출되지 않았다. 유기물과 다르게 질소 농도는 거의 일정하게 유지되었다. 부유물질의 농도는 약 700mg/L로 낮게 유지되었다.

### 2.2.2 Fill ratio의 영향

적정 Fill ratio를 찾기 위하여 1/4, 1/8, 1/12에 대하여 운전하였다. 1/4과 1/8의 경우에는 연속운전 1주일안에 슬러지 wash-out이 발생하였고 반응조의 운전이 실패했다. 이는 높은 암모니아 농도와 pH에 따른 암모니아의 독성, 그리고 생분해가능한 유기물의 부족 등으로 bulking현상이 일어났기 때문으로 판단된다. Fill ratio가 1/4과 1/8인 경우 희석을 고려하면 SBR 반응조 유입시 초기 농도가 약 320, 160mgNH<sub>4</sub>-N/L의 암모니아가 유입되며 미생물에 독성을 나타내는 암모니아 기체의 농도는 pH 8.0 에서의 약 50, 24mg/L가 된다. 이러한 암모니아 가스로 인하여 미생물이 독성을 받았을 것으로 추측된다. 표 2는 fill ratio 1/12인 경우 약 1달간의 운전시 5일간의 분석자료의 평균값이다. 이 경우 반응조가 질산화를 수행하고 안정적인 고액분리가 발생하였다. COD의 경우 유출수의 농도가 유입수의 농도보다 높은데 이것은 반응조가 아직 평행상태에 도달하지 않았음을 보여준다. 또한 표 2에 나타난 바와 같이 아질산염의 축적이 관찰되었다. Rhee 등(1997)에 따르면 아질산염의 축적은 free ammonia의 독성으로 인하여 암모니아를 충분히 질산화시키지 못하는 것이 제일 큰 원인이며 aerobic phase가 4시간 이상인 경우 완전히 질산화시킬수 있다고 보고하고 있다. 본 실험의 경우 간헐폭기를 사용하여(1hr/1hr) 아질산을 거쳐 질산염까지 산화되는데 필요한 폭기시간이 충분하지 않았기 때문에 아질산염 축적이 발생한 것으로 사료된다. 아질산이 인체에 매우 유독하여 유출수에 포함되면 안된다는 측면에서는 단점이지만 아질산을 이용한 탈질을 할 경우 필요한 유기물을 줄일 수 있는 장점이 될 수도 있다. 따라서 폭기/비폭기 주기 결정시 마지막 폭기 시간을 4시간으로 해주어 폭기/비폭기에서는 아질산염 축적 및 탈질을 유도하였고, 마지막 폭기에서 완전한 질산화(complete nitrification)를 유도하고자 하였다.

표 2. fill ratio 1/12 한달 운전 후의 5일간의 평균값

	유입수	유출수
COD	5889	765
TKN	1543	82
N-NH <sub>4</sub>	1287	64
N-NO <sub>2</sub>	0	145
N-NO <sub>3</sub>	0	16
pH	8.00	6.32

### 2.2.3 폭기/비폭기 주기에 대한 평가

앞 실험의 결과를 바탕으로 fill ratio를 1/12로 고정시킨 후 폭기/비폭기 시간의 변화에 따른 반응조의 운전효율을 조사하였다. 고농도의 질소제거시 탈질을 통한 알칼리도의 보충과 아질산염을 이용한 탈질을 유도하기 위하여 간헐폭기방식을 사용하여 SBR을 운전하였다. 이때 사용한 폭기/비폭기 주기는 1/1, 1.5/1, 2/1 (시간/시간)이었다. 외부탄소원은 메탄올을 사용하여 주입하였다. 외부 탄소원은 아래 식에 의거 유입수내의 TKN(1400mgN/L)이 모두 탈질시 필요한 양의 1.5배(709mgCOD/L)를 초기 유입수의 주입시 동시에 넣어주었다.

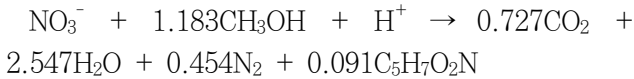
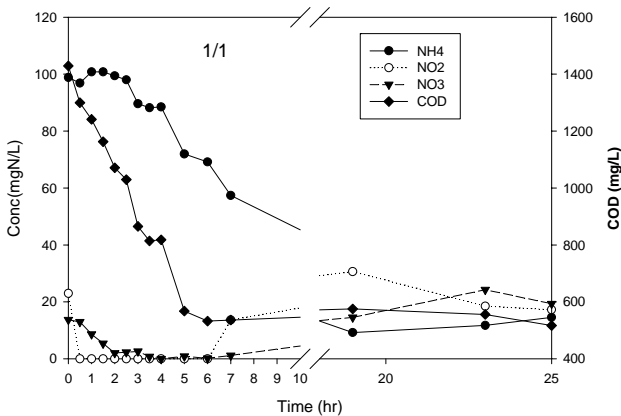


그림 3는 폭기/비폭기 주기가 1시간/1시간인 경우 시간에 따른 유기물과 질소의 거동을 나타낸 것이다.

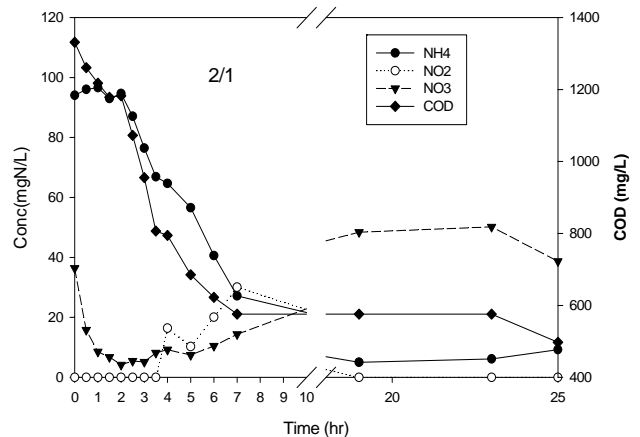


1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	19	20	21	22	23	24
An	Ox	An	Ox	An	Ox	An	Ox	An	Ox	Ox		Settling			

그림. 3 간헐폭기(폭기/비폭기=1시간/1시간) 운전시 질소와 유기물의 거동

미생물이 사용가능한 유기물은 초기 6시간에 거의 다 사용하는 것을 알 수 있다. 첫 비폭기 시간에서는 전 주기에서 제거되지 못한 아질산염과 질산염이 유입된 유기물을 이용하여 먼저 탈질된다. 첫 폭기와 두 번째 폭기에서는 아질산염이 검출되지 않았는데, 이는 탈질에 필요한 유기물이 수중에 있어 시료채취후 미생물을 분리하기 전까지의 짧은 시간에 탈질이 되어 검출되지 않은 것으로 추정된다. 사용가능한 유기물이 모두 사용된 3번째 폭기에서는 아질산염이 검출된다. 이 경우 아질산염을 사용한 탈질이 효과적으로 이루어지고 있다. 그러나 폭기시간 부족으로 인하여 최종 4시간의 폭기에도 불구하고 상당한 양의 아질산염이 유출되었다.

그림 4는 폭기시간을 2시간으로 늘인 경우의 유기물과 질소의 거동을 나타낸 것이다. 폭기/비폭기 주기가 1.5/1과 2/1인 경우 모두 아질산염이 사용가능한 유기물이 모두 소모된 후 검출되는 것을 관찰할 수 있었다. 즉 아질산염을 이용한 탈질이 발생하고 있다. 그러나 1/1 주기에서와는 다르게 두 반응조 모두 생성된 아질산염은 마지막 4시간의 폭기시간에서 질산염으로 전환되었다.



1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	19	20	21	22	23	24
An	Ox	An	Ox	An	Ox	An	Ox	An	Ox	Ox		Settling			

그림 4. 간헐폭기(폭기/비폭기=2시간/1시간) 운전시 질소와 유기물의 거동

각 주기에서의 TN제거율은 각각 95.7, 96.1, 95.7%로 크게 차이가 없었다. 그러나 유출수에 포함된 질산염의 경우 18, 38, 42 mgNO<sub>3</sub>-N/L이었고 주기가 1시간/1시간인 경우에는 아질산염을 30 mgNO<sub>2</sub>-N/L 포함하고 있었다. 이는 폭기 시간의 부족으로 인하여 완벽한 질산화

(complete nitrification)가 발생하지 않은 것으로 추정된다. 따라서 폭기/비폭기 주기는 아질산염이 검출되지 않았던 1.5/1, 2/1 주기중 안정성을 고려하여 2시간 폭기/1시간 비폭기로 결정하였다.

### 2.2.4 SRT에 따른 영향

반응조의 SRT에 따른 질소 제거 효율을 평가하였다. 이 경우, 높은 유기물 부하와 인의 제거를 고려하여 낮은 SRT 범위인 5일, 10일, 15일에 대하여 운전효율을 평가하였다. 이 경우 사용된 fill ratio, 운전주기, 외부탄소원 주입방식은 앞선 실험에서 결정된 1/12, 2/1, single feeding이었다.

표 3. SRT 변화에 따른 미생물 및 질소성분의 변화 (HRT 24hr, 폭기/비폭기 2시간/1시간)

	원수	유출수 농도(mg/L)			제거율(%)		
		SRT 5일	SRT 10일	SRT 15일	SRT 5일	SRT 10일	SRT 15일
MLSS		1413	2887	3070			
MLVSS		1260	2488	2440			
TKN	1431	44	33	19	96.9	97.7	98.7
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1301	26	11	6	98.0	99.2	99.5
NO <sub>3</sub>	0	40	42	42			
TN	1431	84	75	61	94.1	94.5	95.7

표 3은 SRT에 따른 미생물 및 질소성분의 변화를 나타낸 것이다. SRT에 따라 미생물의 농도인 MLSS (MLVSS)는 각각 1413(1260), 2887(2448), 3070(2440)mg/L으로 점차 증가하였으나 10일과 15일에서는 큰 차이를 보이지 않았다. 또한 SRT의 증가에 따라 질산화율이 증가함을 알 수 있었다. 방류수 수질기준 TN농도 60mg/L 이하로 유지하기 위해서는 SRT 15일 이상, HRT 24시간 이상 운전 되어야 하며, 탈질을 원활히 하기 위하여 외부탄소원의 양을 늘이거나 주입방식을 step feeding으로 전환해야 할 것으로 판단된다.

### 2.2.5 외부탄소원 주입방법에 대한 평가

SRT 15일, HRT 24시간, 폭기/비폭기 2시간/1시간, 원수 및 외부탄소원을 single feeding의 방법으로 주입하였을 경우 외부탄소원을 이론적 양의 1.5배를 주입함에도 불구하고 호기성 상태에서의 유기물 사용에 의하여 많은 양의 질산화물을 탈질시키지 못하였다. 따라서 탈질을 위

하여 유기물을 효과적으로 사용하기 위하여 외부 탄소원을 step feeding의 방법으로 주입하였다(그림 5). 원수중의 유기물을 최대한 이용하기 위하여 첫 anoxic 조건에서는 외부탄소원을 주입하지 않았다. 그 후 탈질에 필요한 이론적 외부탄소원의 1.5배의 기질을 3번에 나누어 주입하였다.

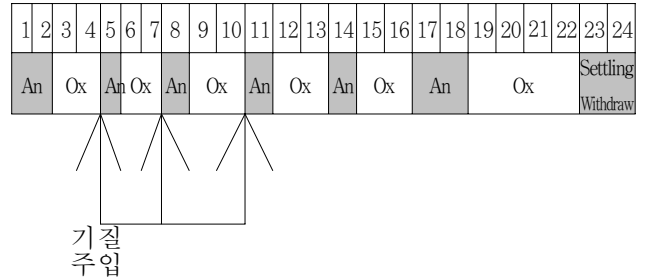


그림 5. 외부탄소원의 step feeding에 따른 reaction time

그림 6은 외부탄소원을 step feeding의 방법으로 주입 시 유기물과 질소의 거동을 나타낸 것이다. 첫 anoxic 조건에서는 유입수의 유기물질을 이용하여 탈질이 발생하고 폭기조건에서 유기물의 제거와 질산화가 동시에 발생하는 것을 확인할 수 있었다. 또한 질산화시 아질산염의 발생도 관찰할 수 있었다. 발생한 아질산염을 탈질에 이용시 필요한 외부탄소원의 양을 줄일 수 있으므로 메탄올의 양을 줄여도 충분히 탈질이 가능함을 확인할 수 있었다.

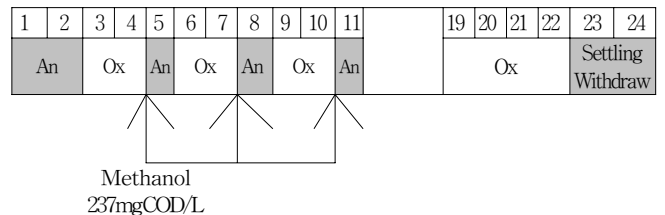
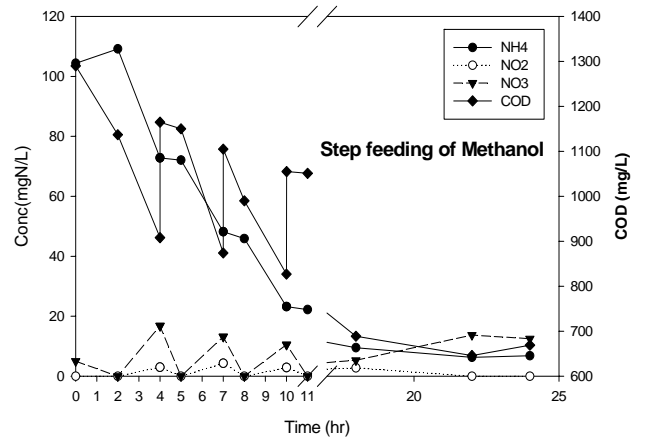


그림 6. Step feeding 시 SBR 반응조의 유기물과 질소성분의 거동

표 4. 외부탄소원 주입 방법에 따른  
유출수중 질소성분

	TN	NH <sub>4</sub> -N	NO <sub>2</sub> -N	NO <sub>3</sub> -N
Step feeding	31.4	6.8	0	12.5
Single feeding	61.0	6.0	0	42

표 4에 나타난 바와 같이 총질소의 농도가 step feeding 을 사용하여 주입시 절반 정도로 감소하였다. 특히 그 중 대부분은 질산염질소가 감소되었음을 알 수 있는데 이는 외부탄소원 주입방법의 변화로 인하여 적절한 탈질이 발생하였음을 알 수 있다. 따라서 외부탄소원 주입시 single feeding 방법보다는 step feeding을 이용하는 것이 더 효과적임을 알 수 있었다.

### 3. 결론

SBR을 이용하여 질소를 제거하기 위한 운전모드를 결정하기 위한 실험을 수행하였다. K시 공공축산폐수처리장의 원심분리기에서 나온 유출수를 사용한 실험에서 질소를 제거하기 위한 적정 fill ratio는 1/12, SRT는 15일, 폭기/비폭기 주기는 2시간/1시간이었다. 탈질을 위하여 주입한 외부탄소원으로는 메탄올을 사용하였고 single feeding방법과 step feeding 방법을 사용하였다. 이 결과 step feeding 방법을 사용시 더 효과적으로 유기물을 사용할 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 사업(No. M1-0203-00-0063)의 일환으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

(접수일자 : 2003년 4월 22일)

### 참 고 문 헌

1. 한국환경학술단체연합회 및 고려대 부설 환경기술정책연구소(2001), 우리나라의 현안문제: 축산폐수 문제 해결을 위한 기술 및 정책 심포지움.
2. 환경부, 오수분뇨 및 축산폐수의 처리에관한 법률, 1999.2.8 개정.
3. 권오상(2000) 양돈폐수 고도처리 시스템, 첨단환경기술, 환경관리연구소, Vol. 8, No. 6, pp. 2-7.
4. APHA(1992), Standard Methods, 18th ed., WEF.  
Chan-Won Kim, Myung-Won Choi, Ji-Yeon Ha(1999) Optimization of operating mode for sequencing batch reactor treating Piggery Wastewater, The Fall Conf. of KSEE, Kwang-Ju, pp177-178.
5. J.P.Barford, C.H.Wong, P.Menoud,B.Edgerton and D.B.McNevin(2000) "Laboratory and Pilot Plant Studies on the Application of Sequencing Batch Reactors and Biofiltration to the Treatment of Piggery Effluent, 2nd International symposium on Sequencing Batch Reactor Technology, France, pp. 23-26.
6. Sung-Keun Rhee, Jay J.Lee and Sung-Taik Lee(1997), Nitrite accumulation in a sequencing batch reator during aerobic phase of biological nitrogen removal, Biotech. Letter, Vol. 19, No. 2, pp.195-198.