

회분식 탈질 공정에서 외부 탄소원에 따른 탈질효과

윤동인 · 이진종¹ · 김동운² · 이기영*

전남대학교 화학공학과, *생물화학공학과

¹전남전문대학 환경공업과, ²광양전문대학 석유화학과

The Effect of External Carbon Sources on Batch Denitrification Process. Yun, Dong In, Jin Jong Lee¹, Dong Woon Kim², and Ki Young Lee*. Department of Chemical and Biochemical Engineering, Chonnam National University., Kwangju 500-757, Korea, ¹Department of Environmental Technology, Chonnam College, Goksung, Chonnam 549-910, Korea, ²Department of Petrochemistry, Kwangyang College, Kwangyang, Chonnam 545-800, Korea - Respiratory denitrification experiments were performed using different carbon sources (acetic acid, glucose, methanol, molasses). In the culture media with glucose and molasses, COD consumption and denitrification rates were higher than with acetic acid and methanol. However, up to 30-40% of reduced nitrate and nitrite were converted to ammonium in glucose and molasses media. In the culture media with acetic acid and methanol, ammonium was not accumulated. Some of the consumed COD seemed to be used by the acid formers for the acidification in glucose and molasses media. By initial pH control of with molasses media, higher denitrification rate (up to 99%) and faster response could be obtained.

Key words: batch denitrification, external carbon, molasses, initial pH control

질소함유 화합물이 하천이나 호수로 유입시 부영양화의 원인이 되며, 수중의 산소를 고갈시켜 수중생태계에 영향을 줄 뿐 아니라 수질의 악화를 초래하여 상수원수나 농업용수로서 가치를 떨어뜨리고, 염소 살균시 살균력을 약화시키기도 하며 유아의 methemoglobinemia와 같은 병을 유발시키는 등[18]의 인간의 건강에 유해한 문제를 유발할 수 있다. 게다가 질소함유 화합물로부터 미생물의 작용으로 인해 nitric & nitrous oxides와 같은 가스상의 물질이 만들어져 성층권에 있는 오존층의 파괴를 야기하기도 한다[12].

폐수로부터 질소화합물의 제거에는 생물학적 탈질공정이 성공적으로 적용되고 있다. 생물학적 탈질공정은 폐수중의 암모니아성 질소(N-NH₄)를 질산성(N-NO₃)이나 아질산성 질소(N-NO₂)로 바꾸는 질산화 공정과 질산성과 아질산성 질소를 질소가스분자(N₂)로의 전환 및 생물체내로 동화시키는 탈질화공정으로 나뉘어 진다. 질산화공정은 대부분 chemolithotrophic 박테리아에 의해 전자공여체로서 NH₄, NO₂, NO로부터 에너지를 생산한다[15]. NO₃ 형태로 산화된 무기질소 화합물은 무산소 상태에서 *Pseudomonas* sp.와 같은 중속 영양 미생물에 의해 NO₂, NO, N₂O와 같은 중간 단계를 거쳐 질소가스로 전환되거나[6, 13], NH₄로 다시 환원되어 미생물의 biomass로 동화된다. 탈질화 과정에는 혐기적 조건과 유

기 탄소원의 존재가 필수적[16]이며 탄소원과 질소이온의 비(C/N ratio)가 2~3사이일 때 탈질 반응이 잘 일어난다는 보고[17]가 있다. 따라서 탄소원이 부족한 폐수의 경우 탄소원의 적정량의 공급[10]은 필수적이라 하겠다. 이러한 탄소원은 저렴한 가격, 독성이 없는 것, 탈질화 및 탈질율이 크고 2차 오염이 없는 것을 요구한다[4].

몇 가지 외부 탄소원이 이미 탈질 실험에 이용되어 유용한 탄소원으로 acetic acid와 methanol이 적합한 것으로 평가받고 있다[14, 3]. 그러나 acetic acid는 실제 산업에 적용할 시 pH조절의 어려움과 비용 등이 문제가 되며 methanol의 경우 적응성과 탈질화 속도[9]에 문제가 있는 것으로 보고되고 있다. 몇몇 연구자에 의해 혐기조에서 혐기성 및 절대혐기성 균주가 많을 경우 NO₃의 NH₄로의 이화환원이 주요한 반응경로로 보고되어 있다[16]. 이것은 환원이 주 반응경로로 보고되고 있으며[11], NO₃의 NH₄로의 환원과정이 탄소 사슬이 많은 환경을 선호하는 것으로 믿어지고 있다[9].

본 연구에서는 질산성이나 아질산성 질소에 적응되지 않은 혐기적 슬러지를 이용하여 외부 탄소원의 영향을 조사하고자 한다. 외부 탄소원으로서 부산물의 일종인 molasses와 구성성분의 하나인 glucose를 이용하여 acetic acid, methanol과 함께 비교 실험을 통해 외부 탄소원으로 적응속도, 탈질율 및 탈질화 속도, COD 소비경향과 pH에 따른 효과를 비교 분석하고 또한 화성 폐수처리시 molasses의 외부 탄소원으로서의 활용가치를 평가하고자 한다.

*Corresponding author
Tel. 82-62-530-1843, Fax. 82-62-530-1849
E-mail: kilee@orion.chonnam.ac.kr

실험재료 및 방법

활성 슬러지

본 실험에 사용한 혐기성 슬러지는 도시하수 종말처리장에서 슬러지를 채취하여 혐기적인 반응조에서 탄소원으로 glucose, 질소원으로 yeast extract 그리고 미량원소를 넣어서 한 달간 적응 배양하였다. 혐기 배양 실험에 들어가기에 앞서 슬러지 접종 배양액을 1주일간 영양물을 공급하지 않은 상태로 배양하여 탄소원의 완전 소비가 이루어지도록 하였다.

회분식 배양배지

각각의 배지에 합성 비 성장 성분은 K_2HPO_4 (0.8 mg/l), KH_2PO_4 (0.2 mg/l)와 약간의 미량원소($FeCl_2$, 0.5 mg/l; $CaCl_2$, 0.5 mg/l; $CoCl_2$, 0.1 mg/l; $CuCl_2$, 0.2 mg/l)를 사용하였으며 배지내의 용존 산소를 제거하기 위해 Datta[7]가 사용한 환원제 Cysteine · HCl- Na_2S · $9H_2O$ 를 0.025 g/l 농도로 만들고 이것을 배지에 0.5% 첨가하였고, 합성 비성장 배지 1.8 l과 슬러지 0.2 l 넣어 총 2.0 l로 부피를 맞춘 다음 약 2 l 원통형 용기에 배지를 채우고 공기의 흐름이 없도록 완전 밀봉을 한 다음 magnetic stirrer를 이용 100 rpm으로 교반하였다. $N-NO_3$ 질소원으로 KNO_3 (200 mg/l)를 사용하였으며 각 탄소원으로 acetic acid, glucose, methanol, molasses를 사용하였고, 약 2500 mg COD/l로 맞추었다.

$N-NO_2$ 의 경우 질소원으로 $NaNO_2$ (200 mg/l)를 사용하였으며, 나머지는 상기와 동일 조건에서 실행하였다. 배양 온도는 $25^\circ C (\pm 2^\circ C)$ 로 유지하였고, 각 용기의 pH는 HCl과 NaOH로 사용하여 7.5로 맞추었다. Table 1은 각 배양배지의 조성을 나타낸 것이다.

분석방법

MLSS, 질산성 질소, 아질산성 질소, 그리고 암모니아

Table 1. Characteristics of each culture medium

	Acetic acid	Glucose medium	Methanol medium	Molasses medium
Total vol. (ml)	2000	2000	2000	2000
MLSS (mg/l)	1200	1200	1200	1200
$N-NH_4$ (mg/l)	0	0	0	0
	Nitrate reduction			
COD soluble (mg/l)	2550	2540	2650	2550
$N-NO_3$ (mg/l)	200	200	200	200
COD/ $N-NO_3$	12.75	12.7	13.25	12.75
	Nitrite reduction			
COD soluble (mg/l)	2650	2600	2710	2630
$N-NO_2$ (mg/l)	200	200	200	200
COD/ $N-NO_2$	13.25	13	13.55	13.15

성 질소의 분석은 Standard Method[2]에 의거하여 분석하였다. 용해성 COD는 potassium dichromate-ferrous ammonium sulphate method[1]를 사용하였다. Molasses(제일제당 Co.)의 성분과 소비되는 탄소원의 농도는 HPLC(Waters Co.)의 sugar pack column과 organic acid column를 사용하였다.

Molasses의 성분

HPLC 분석결과 glucose 11%, fructose 14%, sucrose 69%, oligosaccharide 5%로 이루어져 있었다.

결과 및 고찰

탄소원에 따른 질산성 질소의 소비 경향

Fig. 1은 각 탄소원에 따른 질산성 질소의 소비 경향 및 암모니아 축적율(A), 그리고 아질산성 질소의 생성 및 환원경향(B)을 나타낸 것이다. 각 탄소원에서 질산성 질소의 소비를 살펴보면, molasses의 경우 18시간에서

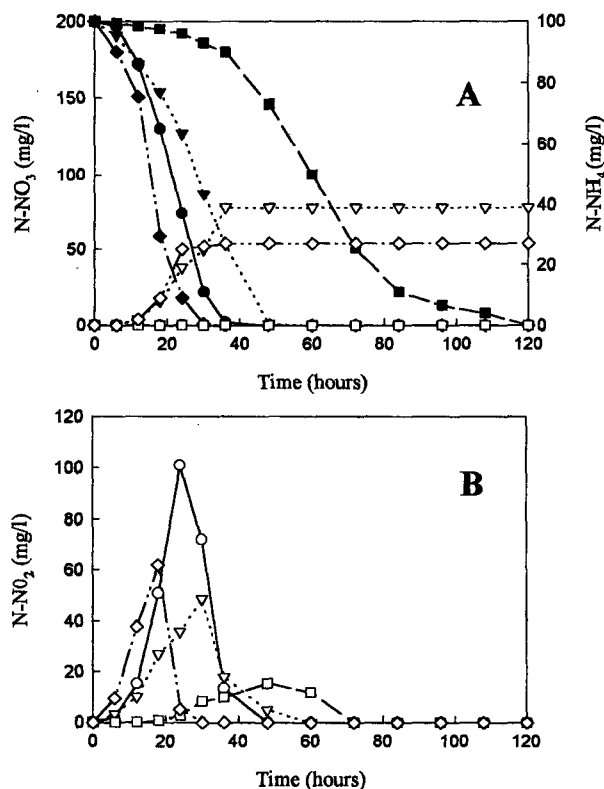


Fig. 1. Time course of nitrogen reduction with each carbon sources in nitrate cultures.

(A) Nitrate consumption (fill) and ammonium accumulation (empty).

Symbols: ●—○, acetic acid; ▼.....▽, glucose; ■—□, methanol; ◆.....◇, molasses.

(B) Nitrite accumulation and reduction.

Symbols: ○—○, acetic acid; ▽.....▽, glucose; □—□, methanol; ◇.....◇, molasses.

24시간 사이에 빠르게 소비되었으며, acetic acid 에서는 20시간에서 30시간 사이에, glucose는 24시간에서 40시간 사이에 소비된 반면, methanol의 경우는 40시간에서 120시간까지에 걸쳐 서서히 소비가 이루어졌다. 이 기간 동안에 암모니아 축적은 methanol과 acetic acid 배지에서는 거의 일어나지 않은 반면 glucose와 molasses 배지에서는 40시간 경우 각각 38 mg/l, 27 mg/l정도 축적되었으며 이후 실험이 끝나는 120시간까지 농도의 변화는 거의 없었다(Fig. 1-A). 아질산성 질소는 대사과정중 빠르게 변화하는 불안정한 중간생성물로 슬러지내에 축적이 많아지면 미생물의 성장에 해로운 영향을 줄 수 있으므로 다른 물질로 빠르게 전환시키는 것으로 보인다. 질산성 질소가 아질산성 질소로 환원되는 경향은 molasses 배지의 경우 가장 빠르게 나타나며 20시간에 최고치인 60 mg N-NO₂/l에 달했으며, acetic acid의 경우는 30시간에 100 mg N-NO₂/l이상이 축적되었고 암모니아의 축적없이 제거되었다. 그리고 glucose에서는 30시간에 약 50 mg N-NO₂/l이, methanol에서는 20시간에서 70시간대에 걸쳐 긴시간동안 축적현상이 나타났다(Fig. 1-B). 이 시기의 pH 변화를 보면 acetic acid의 경우 아질산의 축적이 가장 높은 30시간대에 pH가 9.0였으며 이후 큰 변화는 없었고, methanol에서는 40시간부터 증가하기 시작하며 70시간 경에 pH 8.5를 유지하였다. 반면 glucose와 molasses의 경우는 시간이 지남에 따라 pH 저하를 초래하여 molasses는 36시간대에 pH 6.8을 glucose는 48시간대에 pH 6.6으로 저하한 후 그 상태를 유지하였다(Fig. 2).

위의 결과들을 종합해보면 Akunna 등[3]의 보고에서처럼 acetic acid 배지에서는 반응초기부터 높은 pH를 유지하면서 아질산성 질소의 지속적인 환원과정이 유지

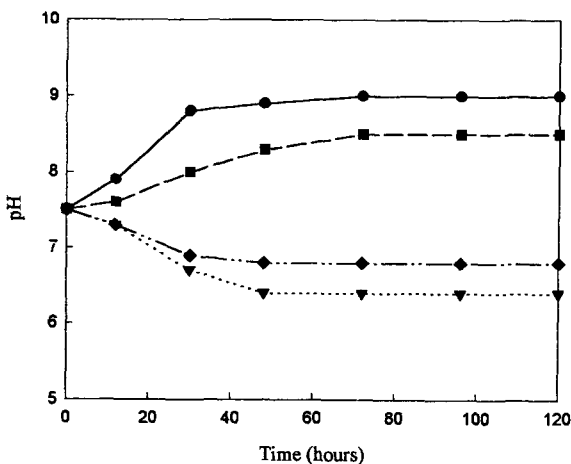


Fig. 2. Time course of pH variations with each carbon sources in nitrate cultures.
 Symbols: ●—, acetic acid; ▲····, glucose; —■—, methanol; ◆····, molasses.

되는 것으로 보아 아질산성 질소의 높은 축적으로 인한 영향은 없는 것으로 보이며, 이 시기에 alkalinity의 증가와 암모니아의 축적이 일어나지 않는 것으로 보아 배지 내에 존재하는 질산은 모두 탈질이 된 것으로 보인다. methanol 배지의 경우도 pH가 증가한 methanol의 소비 시기에 아질산성 질소로의 환원이 최고치에 달했으며, 암모니아의 축적이 일어나지 않은 것으로 보아 슬러지내 암모니아 형성세균은 암모니아의 동화성 환원과정에 alcohol을 소비하지 않는 것으로 보여진다.

Methanol은 탈질에 있어서 훌륭한 탄소원으로 보고되고 있다[4, 14]. 반면 methanol 배지에서 탈질이 느리게 일어나는 것은 질산 환원시 methanol을 소비할 수 있는 세균의 부재이거나 이들이 증식하기 위해서는 오랜시간의 적응시간이 필요한 것으로 사료된다[5]. 한편 탄소원이 glucose인 경우는 acetic acid와 methanol의 경우와는 달리 암모니아의 축적과 pH 저하가 일어났다. Glucose를 탄소원으로 이용할 경우 acid former에 의한 산성화 또는 발효로 인해 pH 저하를 초래하게 되고 암모니아의 축적이 증가한다고 보고되어 있다[3]. Glucose, fructose 그리고 sucrose 등의 당 혼합물로 구성되어있는 molasses의 경우도 glucose인 경우와 유사한 결과를 나타내고 있는 것으로 보아 acid former에 의한 당의 발효가 주된 pH 저하의 원인인 것으로 보여진다.

탄소원에 따른 아질산성 질소의 소비 경향

아질산성 질소를 사용하여 각 탄소원 별 질소 소비경향과 암모니아 축적을 실험한 결과를 Fig. 3에 나타내었다. 그림에서 보듯이 acetic acid, glucose와 methanol은 질산성 질소와 비교하여 초기 소비 흐름이 약간 느리지만 molasses만은 원할한 소비 흐름을 보이고 있다. 최종적으로 완전 소비가 이루어지는 시간은 acetic

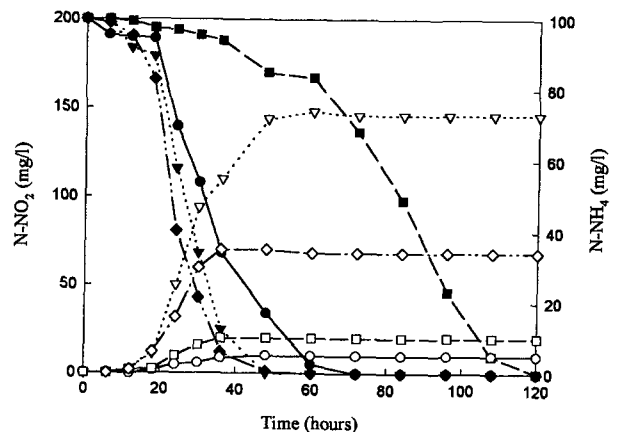


Fig. 3. Time course of nitrite reduction in nitrite cultures.
 Nitrite reduction (fill) and ammonium accumulation (empty).
 Symbols: ●—○, acetic acid; ▲····▽····, glucose; —■—□—, methanol; ◆····◇····, molasses.

acid의 경우는 60시간에서 72시간 사이에 glucose는 36시간에서 48시간 사이에 methanol은 120시간에 도달해야 완전 소비가 이루어지고 molasses의 경우는 30시간에서 36시간 사이에 가장 빠르게 완전 소비가 이루어진다. 암모니아의 축적율은 질산성 질소 배지와 달리 암모니아 축적이 높아져 glucose일 때 75 mg/l로 가장 높고 molasses일 때 35 mg/l 정도이었고 acetic acid와 methanol은 10 mg/l 이하로 약간의 암모니아의 축적이 이루어지고 있다. Fig. 4는 아질산성 질소 소비에 따른 pH 변화를 나타낸 것이다. Acetic acid의 경우는 아질산성 질소 소비가 완전히 이루어지는 60시간대에 최종 pH 9에 이르러 계속 유지되고 methanol은 초기 아질산성 질소 소비가 서서히 이루어짐과 같이하여 pH가 조금씩 높아지다가 소비 흐름이 빠른 80시간대에 최종 pH 8.5에 이른다. Glucose는 암모니아의 축적이 완전히 이루어지는 48시간대에 가장 낮은 pH 5.8에 도달하여 배양 말기까지 유지되고 molasses는 24시간에서 48시간 사이에 암모니아 축적과 함께 pH 6.4에 이르러 배양 말기까지 유지되었다. Glucose와 molasses가 질산성 질소배지보다 암모니아 축적이 높게 나타난 것은 pH 변화에서 보듯이 질산성 질소에 비해 아질산성 배지에서 산의 생성을 많이 유도하여 배양 초기부터 낮은 pH로 인해 암모니아의 축적을 많이 유도하였다. Glucose만을 탄소원으로 사용하였을 때 molasses를 탄소원으로 사용하였을 때 보다 질산성

및 아질산성 배지에서 모두 1.5배정도 암모니아의 축적율이 높게 나타났다. 이를 확인하기 위해서 molasses 구성성분인 glucose, fructose, sucrose를 이용하여 탈질효율을 조사해 본 결과 fructose인 경우 10 mg/l이하로, sucrose인 경우 20 mg/l이하로 glucose보다 암모니아의 축적율이 낮게 나타났다. 이는 glucose가 fructose나 sucrose보다 pH가 낮을 때 발효에 의한 산성화가 좀더 활발하여 이러한 결과를 유도한 것이라 생각된다.

N-NO_x 소비 속도

Table 2는 각 탄소원에 대한 질소원 평균소비속도를 보여주고 있으며 질산성과 아질산성 질소배지에 대한 Fig. 1과 Fig. 3에 의해 계산된 것이다. 질산성 배지일 때 acetic acid인 경우 18-30시간 사이의 값을 glucose인 경우 24-48시간 사이 값을 molasses의 경우 12-24시간까지를 그리고 methanol인 경우는 36-84시간대의 값을 취하여 계산하였다. 아질산성 배지일 때, acetic acid의 경우는 18-36시간대의 값을 glucose는 18-36시간 사이의 값을 molasses은 12-24시간 사이의 값을 methanol일 때는 60-108시간 사이의 값을 취하여 계산하였다. 각 배지의 소비 속도는 각 시간대의 MLSS로 나누어 계산하였다.

기존의 우수한 외부 탄소원으로 인정받는 acetic acid와 methanol은 본 실험 결과에서도 소비속도에서 좋은 값들을 보이고 있다. Table 3는 각 탄소원별 평균 슬러지 증가량을 나타낸 것으로 Fig. 1 그리고 Fig. 3과 함께 비교해 보면 외부 탄소원으로 당을 사용한 경우 소비속도는 매우 빠르나 실제 소비속도에 있어서 acetic acid나 methanol과 차이가 나는 것은 당으로 탄소원을 사용하였을 때 슬러지량의 증가로 소비속도에서 큰 기대치를

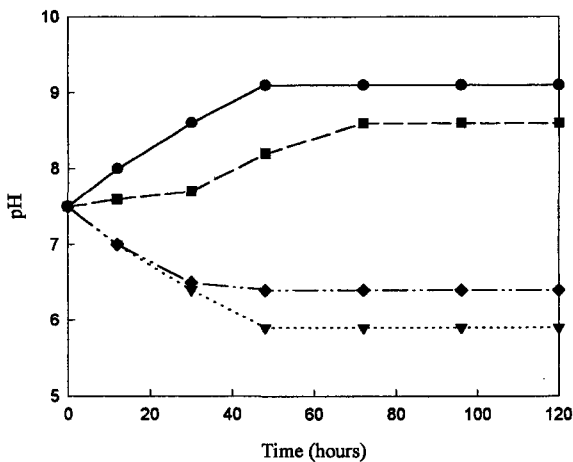


Fig. 4. Time course of pH variations with each carbon sources in nitrite cultures.
 Symbols : —●—, acetic acid ; —▲—, glucose ; —■—, methanol ; —◆—, molasses.

Table 2. Reduction rates and ratio of the COD consumed/ the N-NO_x eliminated for each of the carbon substrates

Carbon Substrates	Form of N-NO _x	Reduction rates	Ratio	mgCOD / mgN-NO _x
Acetic acid	Nitrate	4.08		4.2
	Nitrite	4.24		3.5
Glucose	Nitrate	3.54		5.6
	Nitrite	4.00		5.2
Methanol	Nitrate	5.02		3.6
	Nitrite	4.67		3.4
Molasses	Nitrate	5.33		6.4
	Nitrite	4.95		5.8

Table 3. Average growth rate (MLSS) for each of the carbon sources

Carbon sources	Acetic acid		Glucose		Methanol		Molasses	
	Nitrate	Nitrite	Nitrate	Nitrite	Nitrate	Nitrite	Nitrate	Nitrite
Average growth rate (mg MLSS/L · hr)	67.7	70.1	89.5	91.7	44.4	45.6	93	94.6

얻을 수 없었기 때문이다. 하지만 molasses의 경우 슬러지 량의 증가만큼 질소원의 소비가 다른 탄소원에 비해 매우 빠르게 이루어져 소비속도에 있어서 acetic acid나 methanol보다 높게 나오는 것은 이에 기인한 것이다.

COD 소비

각 탄소원에서 배양 5일후 N-NO₃와 N-NO₂를 완전히 제거하는데 소비된 COD의 측정된 결과 methanol일 때를 제외하고는 대부분 완전히 소비되었다. 질소원이 완전히 소비되었을 때 쓰여진 COD의 양을 환산한 것으로 각각의 비율은 Table 2에 표시되었다. Glucose와 molasses 배지에서 COD 소비량이 methanol과 acetic acid의 경우보다 높게 나타났는데 이는 소비된 COD의 일부가 acid former(acidogens)에 의해 기질의 발효(산성화)로 사용되었기 때문으로 여겨진다[3]. 이와는 달리 methanol과 acetic acid의 경우는 대부분의 COD가 주로 탈질과정에 소비된 것으로 보이며 따라서 잉여 슬러지의 생산이 적은 효율적인 탈질을 유도할 수 있었던 것으로 보여진다. 이는 반응 초기부터 탈질과정중 이상적인 pH 변화를 유지함으로써 적은 량의 COD원으로도 탈질이 이루어질 수 있었으나 glucose와 molasses는 초기부터 낮은 pH로 인한 질소가스생성과는 다른 방향의 암모니아 축적과 많은 량의 슬러지 생성으로 인해 에너지 소비와 이에 따른 많은 량의 COD 소비로까지 이어졌던 것으로 생각된다.

초기 pH 영향

탈질 공정에서의 pH는 중요한 기능을 담당하고 있으며 일반적으로 탈질은 pH 5-11사이에서 일어난다[8, 13]. *P. aeruginosa*의 경우 7.0-8.2 사이가 탈질의 최적 pH로 보고되어 있고 토양내 탈질 세균의 경우[13] pH 7.0-8.0사이에서 그리고 *Hyphomicrobium* sp.[17]의 경우

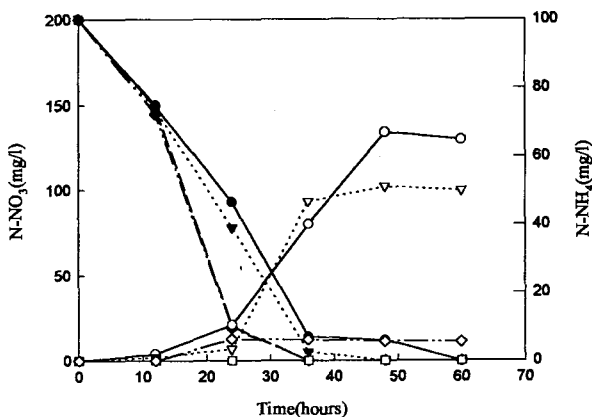


Fig. 5. Effect of initial pH on the nitrate cultures. Nitrate consumption (fill) and ammonium accumulation (empty). Symbols: ●—○, pH 6; ▼—◇, pH 7; ■—□, pH 8; ◆—◇, pH 9.

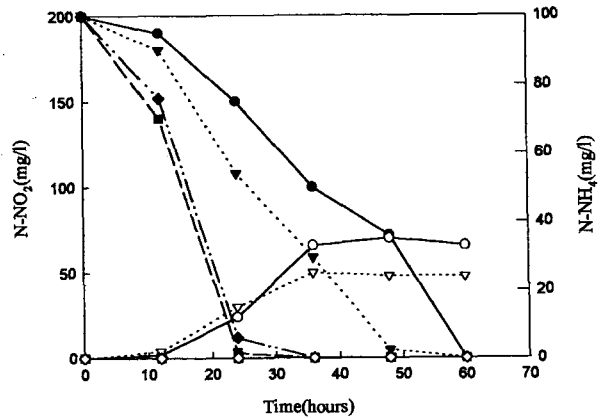


Fig. 6. Effect of initial pH on the nitrite cultures. Nitrite reduction (fill) and ammonium accumulation (empty). Symbols: ●—○, pH 6; ▼—◇, pH 7; ■—□, pH 8; ◆—◇, pH 9.

이와 비슷한 pH 8.3에서 질산성 질소의 환원이 최적이었다고 보고한 바 있다. 또한 탄소원으로 당을 사용한 경우 pH가 떨어지고, 낮은 pH는 탈질효과를 저해하는 것으로 보고되어 있다[3]. 따라서 주성분이 당으로 구성되어 있는 Molasses 경우 pH의 저하로 인해 암모니아의 축적이 유도된 것으로 보고 초기 pH를 6-9까지 조절한 다음 질산성 질소와 아질산성 질소배지에서 탈질율과 암모니아 축적율을 조사해 보았다(Fig. 5, 6). pH 6, 7로 조절할 경우 암모니아 축적이 질산성 질소배지에서는 50-70 mg/l, 아질산성 질소 배지에서는 30 mg/l 정도인 반면 pH 9인 경우 질산성과 아질산성 배지 모두 5 mg/l 이하이었고, pH 8일 때는 암모니아의 축적이 거의 일어나지 않았다. 또한 탈질 효율에 있어서는 pH 6, 7인 경우 질산성 배지일 때 70-80%, 아질산성 배지일 때 85%이었고, pH 9인 경우 두 배지 모두 97% 이상, pH 8인 경우는 99% 이상으로 나타났다. 그리고 Table 3에 나타난 소비속도에서도 pH 6, 7의 경우 배양 초기부터 30시간까지의 값을 취했고 pH 8, 9로 조절한 경우 0시간부터 24시간까지의 값을 취하여 비교한 결과 pH가 높을수록 소비속도가 빠르

Table 4. Effect of initial pH on the reduction rates in molasses medium

Initial pH	Form of N-NO _x	Reduction rates (mg N/g MLSS·h)
pH 6	Nitrate	1.48
	Nitrite	1.13
pH 7	Nitrate	1.48
	Nitrite	1.33
pH 8	Nitrate	2.02
	Nitrite	2.01
pH 9	Nitrate	2.04
	Nitrite	2.00

계 증가함을 알 수 있었다. 실험결과 최적 pH는 8부근인 것으로 알 수 있었으며 이는 Knowles[13] 및 Dawson [8] 등이 보고한 질소 환원 최적 pH 범위인 7-8.3과 일치함을 알 수 있었다.

이와 같이 molasses를 탄소원으로 한 탈질 실험결과 초기 pH만을 조절함으로써 탈질속도 그리고 탈질효율에서 훨씬 좋은 결과를 가져올 수 있었으며 아울러 배양기간 동안 pH를 조절할 경우 그 결과는 좀더 향상된 결과를 유도할 수 있을 것이라 사료된다.

요 약

여러 가지 외부 탄소원(acetic acid, glucose, methanol, molasses)으로 활성 슬러지를 이용하여 탈질 효과를 살펴보았다. 질산성 질소와 아질산성 질소를 질소원으로 하는 혐기성 슬러지의 회분식 배양을 통해 탈질속도, COD 소비, 탈질율을 조사해 본 결과 molasses는 탈질속도나 COD 소비에서 glucose와 비슷하고 acetic acid나 methanol보다 높았으나, 탈질 효율에 있어서는 질산성 질소나 아질산성 질소배지에서 30-40%가 암모니아로 축적되어 탈질 효율이 떨어졌다. 이러한 현상은 molasses와 glucose를 탄소원으로 이용한 경우 발효에 의해 pH저하를 초래하고 이로 인해 탈질 효율이 감소되는 것으로 생각된다. 따라서 초기 pH를 조절하고 외부 탄소원은 molasses를 이용, 탈질 효과를 조사한 결과 pH 8일 때 암모니아의 축적은 거의 없었으며 탈질 속도에 있어서도 acetic acid의 경우보다 12시간정도 빠른 24시간 안에 99% 이상 탈질 효율이 증가함을 알 수 있었다.

감 사

이 논문은 1996년도 지역개발연구 학술조성비에 의해 연구되었으며 이에 감사드립니다. 또한 기초 자료를 제공해주신 포항공대 박종문 교수님께 감사드립니다.

참고문헌

1. APHA, AWWA and WPCF. 1985. Oxygen demand (chemical) -closed reflux, -colorimetric method, pp. 537-538. Standard methods for the examination of water and wastewater, 16th ed. American Public Health Association, Washington DC, USA.
2. APHA, AWWA and WPCF. 1985. Standard methods for the examination of water and wastewater, 16th ed. American Public Health Association, Washington D. C.
3. Akunna, J. C., C. Bizeau, and R. Moletta. 1993. Nitrate and nitrite reductions with anaerobic sludge using various carbon sources: glucose, glycerol, acetic acid, lactic acid and methanol. *Wat. Res.* **27**: 1303-1312.
4. Blaszyk, M., R. Mycielski, H. Jaworowska-Deputch, and K. Brzostek. 1980. Effect of various sources of organic carbon and high nitrite and nitrate concentrations on the selection of denitrifying bacteria. I. Stationary cultures. *Acta Microbiol. Pol.* **29**: 397-406.
5. Chen, K. C. and Y. F. Lin. 1993. The relationship between denitrifying bacteria and methanogenic bacteria a mixed culture system of acclimated sludges. *Wat. Res.* **27**: 1749-1759.
6. Cole, J. 1993. Controlling environmental nitrogen through microbial metabolism. *Tibtech* **11**: 368-372.
7. Datta R. 1992. Process for the production of succinic acid by anaerobic fermentation. *U. S. Patent* 5,143,833.
8. Dawson, R. N. and K. L. Murphy. 1972. The temperature dependency of biological denitrification. *Wat. Res.* **6**: 71-83.
9. Grabinska-Loniewska, A. 1991. Biocenosis diversity and denitrification efficiency. *Wat. Res.* **25**: 1575-1582.
10. Isaacs, S., M. Henze, H. Soeberg, and M. Kummel. 1994. External carbon source addition as a means to control an activated sludge nutrient removal process. *Wat. Res.* **28**: 511-520.
11. King D. and D. B. Nedwell. 1985. The influence of nitrate concentration upon the end products of nitrate dissimilation bacteria in anaerobic salt marsh sediments. *Fems. Microbiol. Ecol.* **31**: 23-28.
12. Klingensmith, K. M. and V. Alexander. 1983. Sediment nitrification, denitrification. VII. Further purification and properties of denitrifying enzyme. *J. Biochem.* **53**: 299-303.
13. Knowles, R. 1982. Denitrification. *Microbiol. Rev.* **46**: 43-70.
14. Lee, N. A. and T. Welander. 1996. The effect of different carbon sources on respiratory denitrification in biological wastewater treatment. *J. Ferment. Biotech.* **82**: 277-285.
15. Prosser, J. I. 1986. Nitrification, pp. 63-78. In Special Publications Soc. Gen. Microbial, Vol. **20**, IRL Press.
16. Tiedje, J. M. 1988. Ecology of denitrification and dissimilatory nitrate reduction to ammonium, pp. 179-244. In Zehnder, A.J.B. (ed), *Biology of Microorganisms*, John Wiley & Sons, New York.
17. Timmermans, P. and A. Van Haute. 1983. Denitrification with methanol: Fundamental study of the growth and denitrification capacity of *Hyphomicrobium* sp. *Wat. Res.* **17**: 1249-1255.
18. U. S. National Research Council. 1972. Accumulation of nitrate. National Academy of Science, Washington, DC.

(Received November 15, 1997)