

## 강독여과지 주변의 밭에 살포된 무기질소의 거동 연구

공인철, 배진희, 안호준, 권오역\*, 김승현, 이철희, 박영규

영남대학교 환경공학과  
대구산업전문대학 환경관리과\*

### **Investigation of the fate of inorganic nitrogens in the near field of bank filtration site**

In-Chul Kong, Jin-Hee Bae, Ho-Jun Ahn, Oh-Oeg Kwon\*, Seung-Hyun Kim, Chul-Hee Lee, Yung-Kyu Park

*Dept. of Environmental Engineering Yeungnam University*  
*Dept. of Environmental Management Taegu Polytechnic College\**

### **ABSTRACT**

Inorganic nitrogens resulting from fertilizers are possible contaminants of bank-filtered ground water, which is an alternative source of safe drinking water. We conducted a laboratory study to determine the fate of inorganic nitrogens in the near field of bank filtration sites and we consequently illustrated the effects of these possible contaminants on the water quality of bank filtration.

Soil properties were found to be well equivalent to those of other cultivated field soils in Korea. Surface soil pH was about 4.3 which is slightly lower than average level. Overall, diverse concentrations of  $\text{NO}_3^-$ -N and  $\text{NH}_3$ -N were measured, and  $\text{NO}_2^-$ -N was nearly undetected.  $\text{NH}_3$ -N level in the field decreased, while  $\text{NO}_3^-$ -N increased along with increasing depth of unsaturated zone.

Numbers of viable and nitrifying bacteria ranged from  $6.73 \times 10^6$  to  $10.7 \times 10^6$  and  $0.44 \times 10^4$  to  $5.21 \times 10^4$  respectively, and both of them were highly correlated ( $R^2=0.992$ ). Nitrifying potential assayed by batch test showed relatively lower than other reported results. The oxygen uptake potential of surface and subsurface soil was measured in the presence of  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ . The results demonstrated that surface soil required shorter lag period and uptaked more oxygen than subsurface's.

**Key words** : bank filtration, inorganic nitrogens, nitrifying potential, respirometer

## 요 약 문

안전한 먹는 물 생산을 위해 강독여과수를 원수로 취수할 경우 여과수 수질오염의 원인이 되는 무기 질소성분의 거동에 대해 연구하였다. 강독여과지 주변 토양의 특성은 우리나라 평균 농경지 특성과 유사하였으나 표층의 평균 pH는 약 4.3으로 약산성을 나타내었다. 질소 농도는 토양 깊이별, 지역별로 다양한 함량의  $\text{NH}_3\text{-N}$ 과  $\text{NO}_3\text{-N}$ 가 관찰되었으나  $\text{NO}_2\text{-N}$ 은 거의 검출되지 않았다. 또한 토양 깊이에 따라 대체적으로  $\text{NH}_3\text{-N}$ 의 농도는 감소하고  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 농도는 증가하였다. 토양의 생균수와 질화균수는 각각  $6.73\sim 10.7\times 10^6$ 과  $0.44\sim 5.21\times 10^4$ 으로 조사되었고 상관관계는  $R^2=0.992$ 였다. 회분식으로 조사된 토양의 질산화 능력은 대체로 낮게 나타났으며 질산화균과 질산화능력의 상관관계는 높게 조사되었다. 표층과 심층토에 암모니아성 질소를 첨가한 후 호흡량 측정기로 소모되는 산소량을 측정한 결과 표층이 심층에 비해 짧은 지체기 후 많은 양의 산소소모가 관찰되었다.

**주제어** : 강독여과수, 무기질소, 질산화능력, 호흡량

## 1. 서 론

낙동강 유역은 지난 수 십 년간 인구 도시집중과 농업의 현대화가 이루어지면서 시설 재배 등 여러 형태의 농업활동이 집약적으로 이루어지고 있다.<sup>1)</sup> 이에 따른 비료사용의 증가로 유실량의 일부가 하천수계로 유입되어 상수원수 오염을 가중시키고 있으므로 하류지역 하천의 오염은 불가피한 실정이다.<sup>2~4)</sup> 특히 영남지역의 중요한 상수원수인 낙동강 유역에는 농업이 집약적으로 형성되어 있을 뿐 만 아니라 공업지대와 대도시를 끼고 있으므로 지역에 따라 차이는 있으나 오염정도가 상당한 수준에 있으며 또한 빠른 속도로 증가하고 있다.<sup>5,6)</sup> 따라서 안전한 먹는물 생산을 위해 직접 원수를 취수하는 방법에서 탈피하여 유럽의 라인강이나 다뉴브강을 포함한 여러 지역에서 오랫동안 성공적으로 사용되어온 강독여과수 취수법이 적절한 대안으로 논의되고 있

다.<sup>7)</sup>

우리나라와 같이 취수와 배수가 쉬운 강 주변의 땅을 이용한 집약적인 농업형태인 경우에는 다량의 비료가 살포되고 이는 지하수 수질에 영향을 줄 수 있으므로<sup>8)</sup> 강독여과수를 취수할 때 오염 가능한 질소화합물들 중, 특히 청색증(methemoglobinemia)이나 다른 건강장애를 끼치는 것으로 알려진<sup>9)</sup>  $\text{NO}_3\text{-N}$ 오염에 대한 주의가 필요하다.<sup>10,11)</sup> 강독여과의 적지로 논의되는 대부분의 지역은 강으로부터 1~4 km의 농경지에 인접해있으므로 다량의 농업 오염물이, 특히 농약과 비료, 살포되며 지하로 침투하여 미분해된 물질들이 강독여과수를 오염시킬 가능성이 있다. 살포된 비료는  $\text{NH}_3\text{-N}$ ,  $\text{NO}_3\text{-N}$ 의 형태로 식물에 이용되고 유출된 과다한 양은 질산화, 탈질화 과정을 거치면서 지하층으로 이동한다.

실제로 낙동강의 한 지역을 시험 조사한 바에 의하면 강물의  $\text{NO}_3\text{-N}$ 는 약 4 mg/L인데 비해

강독여과수의  $\text{NO}_3^-$ -N는 약 16 mg/L이었고 이는 음용수 기준치를 넘는 수치이고, 배후 농지로부터의 오염물 유입을 시사하는 것이라고 볼 수 있다. 이는 미국 Iowa주의 경우 15 m 보다 깊은 우물의 35 %이상에 10 mg/L 이상의  $\text{NO}_3^-$ -N가 존재하는 것으로 보아 특별히 심한 오염은 아닌 것으로 사료된다.<sup>12)</sup>

토양에서 무기질소 화합물의 이동과 변환에 대한 연구가 환경오염을 최소화하기 위해 필요하므로 본 연구에서는 강독여과의 적지로 판단되는 낙동강유역의 밭의 물리/화학적 특성을 조사하고 시비된 비료로부터 유출가능한 질소성분( $\text{NH}_3$ -N,  $\text{NO}_3^-$ -N)의 농도와 미생물 개체수(생균수와 질화균)를 토양 깊이별, 작물재배 종류별로 조사하였다. 또한 토양의 질산화능력(nitrifying potential)을 회분식과 호흡량 측정기로 조사하여 질소화합물이 향후 강독여과수 오염에 미치는 영향을 예측하는 데 사용하고자 한다.

## 2. 실험 방법 및 분석

### 2.1. 시료채취

시료는 토양채취기(auger)를 이용하여 채취하였으며 작물종류별로 표층만 채취할 경우는 0~30 cm 깊이에서 채취하였고, 깊이별로는 지층구분에 따라 4층(A토양, 0~25, 25~50, 50~90, 90~210 cm) 혹은 5층(B토양, 0~55, 55~115, 115~145, 145~185, 185~225 cm)으로 구분하여 채취하였다. 사용할 때까지 저온실에 보관하였으며 목적에 따라 일부는 풍건시킨 후 2 mm 체로 걸러 분석에 이용하였다.

### 2.2. 토양 특성조사

토양의 일반적인 특성은 pH, 수분함량(w/w%),

유기물함량, 총질소,  $\text{NH}_3$ -N,  $\text{NO}_2^-$ -N,  $\text{NO}_3^-$ -N, 양이온치환용량(CEC : cation exchange capacity)에 대한 항목을 조사하였다. 이들 항목중 pH, 유기물함량, CEC는 건조토를 사용하였고 나머지 항목은 습토 그대로 시험하여 건조 토양 질량당으로 환산하였다. 대략적인 측정방법은 다음과 같다 : pH(이온전극법 1 : 5 dH<sub>2</sub>O)측정은 토양을 건조하여 20 g을 탈기한 증류수(pH 7~8) 100 ml와 잘 혼합한 후 1 시간 정치한 뒤 상등액의 pH를 측정 하였다. 수분함량은 105 °C오븐에 12시간 이상 건조한 후 건조 전후 무게를 측정하여 결정하였다.  $\text{NH}_3$ -N(인도페놀법),  $\text{NO}_2^-$ -N (Griess-Ilosvey 법),  $\text{NO}_3^-$ -N (Brucine법)은 토양 10 g을 100 mL의 2 M KCl에 용출한 뒤 걸러서 발색법을 이용하여 정량하였다. CEC (암모늄아세테이트법 및 인도페놀법)는 암모늄아세테이트로 양이온을  $\text{NH}_4^+$ 이온으로 모두 치환한 후 알코올로 씻어내고 다시 2 M KCl로 용출하여 암모니아의 양을 정량한 뒤 토양 100 g당  $\text{NH}_4^+$ 의 밀리당량(meq, milliequivalent)으로 표시하였다. 유기물함량(Tyurin법)은 중크롬산칼리황산혼합용액 20 mL와 토양 0.2 g(유기물함량에 따라 양을 달리함)을 삼각플라스크에 넣고 소형여두를 덮어 200 °C의 뜨거운 전열판에서 기포 발생 후 정확히 5 분 가열한 뒤 인산, 지시약을 가하고 황산제일철암모늄으로 적정하였다.<sup>13)</sup> 또한 진공펌프에 연결된 다공질 세라믹컵을 이용하여 토양수를 추출하여 질소성분 농도를 측정하였다.

### 2.3. 토양중 미생물 계수

토양에 존재하는 일반세균, 질산균의 계수를 깊이별, 작물재배종별로 측정하였다. 일반세균은 평판계수법에 의한 집락형성도(colony forming unit)로, 질산화 및 탈질화 박테리아에 대해서는 최적확수도(most probable number)로 조사하였

다. 일반세균배지로는 PTYG(peptone, tryptone, yeast extract, glucose) 배지 희석액을 사용하였고 농축배지의 조성은 다음과 같다(per liter) : 5.0 g peptone, 5.0 g tryptone, 10.0 g yeast extract, 10.0 g glucose, 0.6 g  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$ , 0.07 g  $CaCl_2 \cdot 2H_2O$ , 15 g agar. 질산화균 계수를 위해 유기물을 배제한 빈영양배지인 고농도의 stock solution(Table 1)을 희석하여 사용하였고, 탈질균배양배지의 조성은 다음과 같다(per liter  $dH_2O$ ) : nutrient broth 8.0 g,  $KNO_3$  0.5 g (5 mM).

Table 1. Composition of Stock Solution for the Preparation of Nitrifying Bacteria Media

Composition	Conc.(g/100ml)	stock solution required per liter of media	
		$NH_4^+$ oxidizer (mL)	$NO_2$ oxidizer (mL)
$(NH_4)_2SO_4$	5.0	10.0	
$NO_2$	0.85	1.0	
$CaCl_2 \cdot 2H_2O$	1.34	1.0	1.0
$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	4.0	1.0	1.0
Bromothymol blue	0.04	5.0	
$K_2HPO_4(0.2M)$	3.48		4.0
$KH_2PO_4(0.2M)$	2.72	7.5	1.0
Chelated iron		1.0	1.0
$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	0.246		
EDTA disodium	0.331		
Trace elements(g/100ml)		1.0	1.0
$Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$ 0.01, $MnCl_2$ 0.02, $CoCl_2 \cdot 6H_2O$ 0.0002, $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ 0.01, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ 0.002			

## 2.4. 회분식 질산화 능력 측정

토양 시료의 암모니아에 대한 질산화 능력을 측정하기 위해 다음과 같은 방법을 사용하였다.<sup>15)</sup> 채취한 토양에 증류수에 용해된  $(NH_4)_2SO_4$ 을 25 % 수분함량에 질소 농도가 200 mgN/100g soil이 되

도록 첨가하여 균등하게 혼합한 후 각 50 g씩 용기에 담고 28 °C에서 3 주간 배양하였다. 배양 후 증류수만 가한 것(대조군)과  $(NH_4)_2SO_4$ 을 가한 것의  $NO_3^-$ 의 농도를 측정하여 그 차를 구한 뒤 토양에 해당하는 양으로 환산하여 질산화 능력을 평가하였다

## 2.5. 호흡량에 기준한 질산화능력 측정

토양의 질산화 능력을 측정하기 위해 호흡량 측정기(BI-1000 Electrolytic Respirometer, Bioscience, Inc. USA)를 사용하여 질산화균의 호흡에 필요한 산소소비량을 측정하였다. 회분식 질산화능력 실험과 동일하게 수분량과  $(NH_4)_2SO_4$ 을

첨가하여 호흡량측정기에 연결하여 산소 소비량(즉 발생량)을 조사하였다. 호흡량 측정기는 밀폐된 시료병에  $O_2$ 가 소비되고 발생된  $CO_2$ 은 이산화탄소 흡수장치(KOH 용액)에 흡수됨에 따라 내부의 압력이 외부보다 낮아지면 시료병과 연결된 전기발생장치로부터 내·외부의 압력이

같아질 때까지 1 N  $H_2SO_4$ 을 전기분해하여 산소를 발생한다.

컴퓨터로 미생물에 의해 소비된  $O_2$ 양 만큼 발생한 산소의 측정량을 계산하여 미생물의 대사 활동성이나 양을 간접적으로 확인하였다.

### 3. 실험 결과 및 고찰

#### 3.1. 토양의 물리화학적 특성

조사된 토양의 물리화학적 특성은 Table 2에 나타나 있다. 실험에 사용된 모든 토양의 pH는 지역에 따라 최저 3.22부터 최고 6.17로 나타났으며 수분은 5.70~24.19 % 범위로 조사되었다. CEC는 건토 100 g 당 최소 1.9에서 최대 14.7 meq, 평균 8.8 meq로 우리나라 일반 답토양 수준인 11 cmol/kg에 상응한 치환능력이다.<sup>10)</sup> 표층 이하의 토양은 비교적 낮은 CEC (평균 5.9 meq/100 g 토양)가 관찰되었다. 유기물 함량은 전체 시료의 표층 및 심층에 대해 0.05~3.31 % 범위로 조사되었으며 평균 유기물 함량은 1.37 %였다.

#### 3.2. 질소화합물 농도 분포

토양중에 존재하는 무기질소화합물인 암모니

아, 질산, 아질산의 농도를 조사하여 Table 2에 나타내었다. 깊이별, 작물재배 종별 농도 변화에 대해서는 뚜렷한 상관관계를 관찰할 수 없었으나 조사 지점별로 다양한 함량이 조사되었고 농도범위는  $\text{NH}_3\text{-N}$ 가 kg 건토당 0.2~45.59 mg-N,  $\text{NO}_3$ 가 kg 건토당 2.9~9.44 mg-N 범위의 농도가 관찰되었고  $\text{NO}_2$ 은 거의 검출되지 않았다. 대체적으로 표층이 표층하단보다는 약간 높은 농도가 관찰되었고 지역간의 차이는 작물 종류 및 시비일시에 따른 차이일 것으로 판단된다.

불포화대에서 질소화합물 이동과정중에 입자와 토양수간에 분포된 암모니아와 질산성분의 농도를 조사하기 위해 진공펌프와 연결된 다공질 컵으로 토양수를 추출하여 무기질소 성분을 측정하였다 (Table 3). Table 2의 B토양에 대해 100, 150, 200 cm깊이의 불포화대 토양과 수분을 채취하여 측정한 결과, 양이온으로 존재 가능한  $\text{NH}_3\text{-N}$ 은 대부분(98.2 % 이상)이 토양에 흡

Table 2. Selected physicochemical microbial of Soil collected from near Bank Filtration Sites

Sites	Depth (cm)	pH	Moisture cont.(%)	CEC (me/100g)	Organic cont.(%)	Concentration (mg N/kg dry soil)			Viable cells (CFU/g dry wt)	Nitrifier (MPN/g dry wt)	
						$\text{NH}_3\text{-N}$	$\text{NO}_2\text{-N}$	$\text{NO}_3\text{-N}$			
A 밭	A <sub>1</sub>	0~25	3.22	16.03	8.77	2.07	45.59	ND	22.67	$3.25 \times 10^5$	-
	A <sub>2</sub>	25~50	3.24	11.81	6.92	0.05	15.18	ND	13.28	$1.98 \times 10^4$	-
	A <sub>3</sub>	50~90	3.31	5.70	1.91	-	14.79	ND	5.60	$0.91 \times 10^4$	-
	A <sub>4</sub>	90~210	4.47	22.07	8.80	1.24	17.63	ND	9.35	$1.61 \times 10^4$	-
B 밭	B <sub>1</sub>	0~55	5.96	8.04	5.91	1.33	8.16	ND	9.44	$7.56 \times 10^5$	-
	B <sub>2</sub>	55~115	5.71	7.06	5.54	1.10	5.89	ND	4.68	$2.78 \times 10^5$	-
	B <sub>3</sub>	115~145	5.68	24.19	7.39	2.11	7.80	ND	6.72	$2.61 \times 10^5$	-
	B <sub>4</sub>	145~185	6.06	14.33	4.65	1.57	7.74	ND	3.37	$4.57 \times 10^5$	-
	B <sub>5</sub>	185~	6.17	9.05	5.97	1.63	6.85	ND	4.19	$3.38 \times 10^5$	-
감밭	0~20	4.21	14.13	12.04	1.14	2.93	ND	2.90	$6.73 \times 10^6$	$0.223 \times 10^4$	
수박밭	0~20	4.44	21.63	13.70	1.55	5.97	ND	4.49	$9.61 \times 10^6$	$2.189 \times 10^4$	
복숭아밭	0~20	3.89	17.60	14.68	1.03	5.61	ND	3.63	$7.76 \times 10^6$	$2.32 \times 10^4$	
감자밭	0~20	3.68	16.18	12.93	1.14	0.20	ND	4.09	$7.67 \times 10^6$	$0.66 \times 10^4$	
포도밭	0~20	4.87	21.76	14.04	3.31	6.56	ND	8.88	$10.71 \times 10^6$	$5.21 \times 10^4$	

\* ND(not detectable) ; Samples except A site(Jul. 97) are collected on Aug. 97.

Table 3. Distribution of Nitrogen Compounds between a Solid and an Aqueous Solution Phase in unsaturated Soil

Sites	Depth	NH <sub>3</sub> -N (mg/kg soil wet wt)			NO <sub>3</sub> -N (mg/kg soil wet wt)		
		Total	Dissolved	Adsorbed(%)	Total	Dissolved	Adsorbed(%)
B <sub>2</sub>	55-115	5.50	0.097	5.403(98.2%)	4.37	1.605	2.766(63.3%)
B <sub>4</sub>	145-185	6.77	0.010	6.760(99.9%)	2.95	2.515	0.435(14.7%)
B <sub>5</sub>	185-	6.28	0.006	6.274(100%)	3.84	6.152	2.037(53%)

착되어 있으며, 이는 토양의 양이온 교환능력을 고려할 때 타당한 것으로 사료된다. NO<sub>3</sub>-N의 상당량(14.7~63.3 %)이 토양에 흡착되어 있는 것은 토양 유기물이 가지는 음이온 교환능력에 기인하는 것으로 판단된다. 또한 토양 깊이에 따라 대체적으로 용존 NH<sub>3</sub>-N의 농도는 감소하고 NO<sub>3</sub>-N의 농도는 증가하므로 질소성분은 이동하면서 점차 산화되는 것을 확인할 수 있다. 여기에서 토양에 부착된 질소는 미생물에 의해 직접 이용되지 않기 때문에 토양중 질소의 이동속도에는 영향을 주지만 그 경향에는 영향을 주지 않는다.<sup>17)</sup> 또한 측정된 토양의 pH범위가 3.2~6.2이기 때문에 토양중에서 NH<sub>3</sub>-N의 휘산에 적당한 pH > 7.1~8.8에 미치지 못하여 휘산은 발생하지 않는 것으로 볼 수 있다.<sup>18)</sup> 토양조직(soil aggregate)내부에 무산소상태가 존재하여 탈질이 발생가능하지만 본 연구에서는 이를 확인하지 않았다. 다만 토양에 모래질이 많아서 통기가 잘될 것으로 판단되어 낮은 탈질 활동도가 발생할 것으로 생각된다.

### 3.3. 증속영양균, 질산화 및 탈질화균 측정

생균수는 측정된 지역 및 깊이에 따라 다양한 개체수가 관찰되었다. 생균수 측정을 위해 희석하지 않은 PTYG배지를 초기에 사용하였으나 집락수 관찰이 힘들었고 토양 추출물(soil extract)을 이용한 경우는 시료 채취점 간의 차이 때문에

본 연구에서는 100 배로 희석한 PTYG 배지를 사용하였다.<sup>19)</sup>

감자를 이미 수확한 밭(시료A)의 깊이별 생균수는 대략 건토 그램당  $0.91 \times 10^4$ 에서  $3.25 \times 10^5$  CFU 범위의 균수가 관찰되었고 역시 깊이별로 채취한 B토양 생균수도 건토 그램당  $2.61 \times 10^5$ 에서  $7.56 \times 10^5$  CFU 범위가 존재하였다. A, B시료 경우 모두 일반적으로 미생물의 활동도가 높은 표층이 다른층과 비교하여 많은 양의 생균수, 각각  $3.25 \times 10^5$  및  $7.56 \times 10^5$  가 존재하였다. 그러나 불포화대의 깊이에 대한 생균수 변화의 상관관계는 확인하지 못하였다 (Table 2). 각기 다른 작물 재배지의 표층 생균수를 측정된 결과 건토 그램당  $6.73 \times 10^6$ 에서  $10.7 \times 10^6$  CFU 수준이 조사되었다. 조사된 시료중에서 수확전의 포도밭에서 채취한 토양에서 가장 많은 양의 생균수가 관찰되었다. 전형적으로 토양의 생균수는 대개 g건토당  $10^8 \sim 10^9$  CFU가 존재하는 것으로 알려져 있으나<sup>20)</sup> 본 조사지역의 결과는 다소 낮은 생균수가 관찰되었다.

생균수에 이어 조사 지역의 질화균(nitrifying bacteria)의 분포를 MPN 방법으로 측정하였다. 조사된 시료에 대해 질화균은  $0.44 \times 10^4 \sim 5.21 \times 10^4$  으로 관찰되었고 생균수가 많이 관찰된 포도밭에서 질화균도 최고치가 조사되었으나 전체적으로 큰 차이는 없었다. 생균수와 질화균수의 상관관계는  $R^2 = 0.992$ 인 것으로 조사되어 (Fig. 1) 두그룹의 영양균은 높은 상관관계가 있

음을 알 수 있다. 일반적으로 본 조사의 질산화수는 일부 연구자들이 조사한 생균수와 비슷하였다.<sup>16,21)</sup>

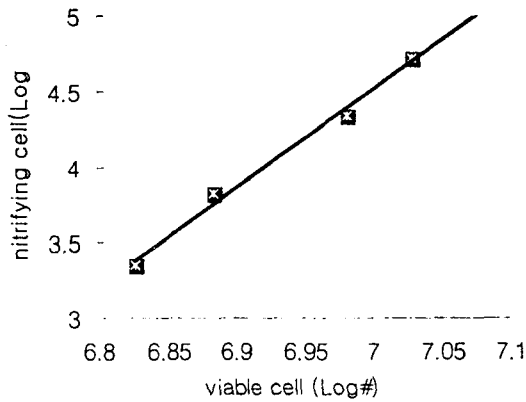


Fig. 1. Relationship between viable and nitrifying cells in soils collected near bank filtration site.

### 3.4. 회분식 질산화 능력측정

과다하게 시비된 질소비료는 관개용수와 강우에 의해 토양중의 다른 오염원과 함께 불포화대를 거쳐 지하수면으로 이동하게 되며 이동중 미생물 물질대사에 의해 다양한 무기질소 형태로 전환되어 존재한다. 우리나라 농경지의 경우에 무기질소 형태중 지하수 오염에 가장 중요한 형태는 질산성 질소인 것으로 알려져 있다.<sup>22)</sup> 질산화 능력은 Table 2의 감밭과 복숭아밭 표층시료의 경우에 각각 1.7과 14.9  $\text{NO}_3^- \text{N mg/(kg건토} \cdot 21\text{day)}$  로 다른 연구자의 결과보다는 대체적으로 낮은 질산화 능력이 관찰되었다. 다른 연구자에 의하면 다양한 시료에 대한 질산화능력 평균치가 39에서 41.2,<sup>16)</sup> 60에서 135,<sup>23)</sup> 6에서 20<sup>24)</sup>의 범위로 보고되었다. 낮은 질산화 능력이 관찰된 것은 토양환경 차이때문으로 설명될 수 있으며 특히 질화균의 활동을 저해하는 낮은 pH 3.9~

4.2와 토양의 낮은 탄소원 및 영양원의 조건을 변형시키지 않은 상태에서 적용한 짧은 배양기간(21 day)이 질산화균의 성장을 위해 충분하지 않은 원인으로 사료된다. Tate III (1995)<sup>19)</sup>에 의하면 토양의 조건을 변형시키지 않은 상태에서 암모니아와 아질산산화균의 활동도를 조사하기 위해서는 각각 55 일과 100 일 정도의 배양기간이 요구된다고 한다.

Waggoner and Zuberer (1996)<sup>15)</sup>의 조사에 의하면 암모니아에 대한 질산화 능력과 질산화균의 밀도는 그 상관계수가  $r = 0.75 \sim 0.94$ 로 매우 높게 보고되었고, 또한 본 연구에서의 질산화균 농도와 질산화 능력 사이의 관계도 대체로 만족한다고 볼 수 있다.

### 3.5. 호흡량 측정기에 의한 질산화능력 측정

토양 미생물의 질산화 능력을 암모니아성 질소의 질산화에 요구되는 산소양에 기준하여 조사하였으며 호흡량 측정기는 온도  $28 \pm 1$  °C, 토양 50 g의 조건으로 실험하였다. B시료의 표층토(0~55 cm)와 심층(115~145 cm)토를 사용하였으며 대조군은 수분량(25 %)만을 조정하여 사용하였고 실험군은 수분함량조절과 1 kg 건토당 50 mgN성분을 첨가하여 21일간 배양하였다.

관찰할만한 산소소모량이 나타나기 전에 요구되는 지체기(lag period)와 21 일 배양 후 총 산소 소모량에 대해 표층토의 대조군과 암모니아성 질소를 첨가한 실험군은 각각 146 시간과 40 시간의 지체기를 거친후 산소소모가 관찰되었고, 또한 21 일간 배양기간 후 산소는 각각 91과 161  $\text{mgO}_2$  소모하였다 (Fig. 2). 따라서 대조군에 비해 암모니아성 질소를 첨가한 실험군은 질산화균의 활동에 의해 짧은 지체기 후에 급속한 산소소모가 관찰되었다. 표층과 심층(115~145 cm) 시료 모두에 대해 대조군이 실험군(황산암모늄

첨가)보다 각각 20 및 12 시간 정도 긴 지체기를 거친 후 급격한 산소소모가 발생하였다. 또한 산소소모량도 심층은 표층과 비교하여 대조군은 약 0.5 배, 실험군은 0.3배 정도 낮게 관찰되었다. 심층자체의 대조군도 실험군에 비해 긴 지체기와 적은 산소소모량이 관찰되었다. 표층과 심층의 지체기 및 산소발생량에 대한 차이는 여러 환경요인, pH, 유기물 함량 등에 의한 것으로 보이며 초기 미생물, 특히 질산화균 농도와 높은 상관관계가 있을 것이다.

또한 실험군이 대조군에 비해 짧은 지체기와 많은 산소소모량이 관측된 것은 미생물의 질산화 활동에 의한 것을 나타낸다. 향후 배양후의

성 및 불포화 발토양에서의 미생물 활동에 의한 질소화합물 변환 거동에 관하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 강독여과수 취수정 근처 토양의 물리/화학적 특성은 우리나라 평균적 담토양과 비슷한 특성을 가지고 있었으나 pH는 대체적으로 낮게 조사되었다.
  - 표층 및 심층의 NH<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N 성분을 조사한 결과 NH<sub>3</sub>-N와 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N는 일반적으로 표층이 심층에 비해 높은 농도로 관찰되었고, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>-N는 조사 대상 시료에서는 검출되지 않았다.
- 또한 불포화대내에서 양이온 형태로 용존가능

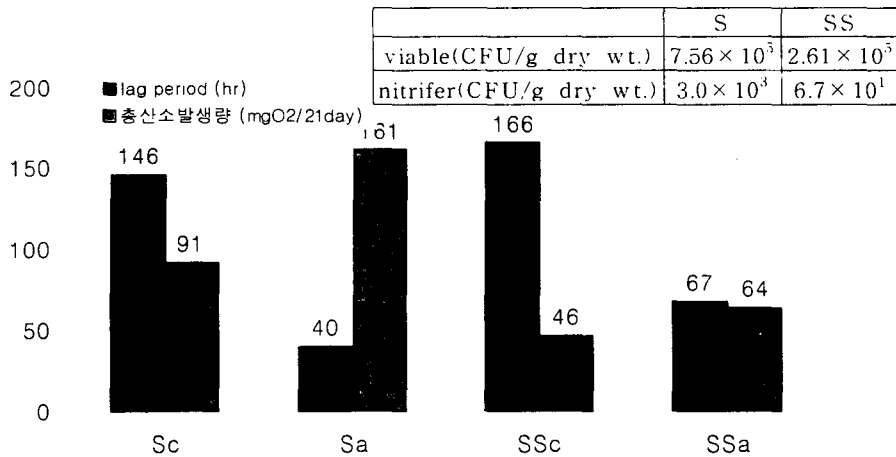


Fig. 2. Comparison of lag period and total oxygen uptake in surface and subsurface soils. Sc (surface soil control), Sa (surface soil amended), SSc (subsurface soil control), SSa (subsurface soil amended).

잔존 질소성분 조사 및 질산화균 증가 정도를 측정함으로써 질산화 진행정도에 대해 정확한 정보를 도출할 수 있을 것이다.

#### 4. 결 론

본 연구는 강독여과수에서의 질소성분 오염정도를 예측하기 위해 주변 농지의 물리화학적 특

한 NH<sub>3</sub>-N가 음이온으로 존재하는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N에 비해 토양표면에 높은 비율로 흡착되어 있어 무기질소성분의 이동특성을 알 수 있었다.

- 평판계수에 의한 생균수와 MPN법에 의한 질산화균의 높은 상관관계가 조사되었고, 역시 표층이 심층에 비해 많은양의 미생물 수가 관찰되었다.
- 질산화능력이 높은 표층토는 낮은 것에 비해



많은 양의 질산화균이 관찰되었으나 조사된 지역의 질산화능력은 다른 연구에서 보고된 질산화능력보다 낮게 나타났으며 조사대상 토양의 낮은 pH가 주된 원인인 것으로 사료된다.

- 호흡량 측정기를 이용하여 호흡에 따른 산소발생량을 측정하여 질산화능력을 비교한 결과 미생물 활동도가 높은 표층이 심층에 비해 짧은 지체기, 많은 산소소비량이 관찰되었고, 또한 무기질소(황산암모늄)가 첨가된 실험군이 대조군에 비해 역시 짧은 지체기와 높은 산소발생량이 관찰되었다.

이상과 같은 결과를 불포화대내에서 무기질소 이동에 대한 특성을 유추하기 위한 자료로 활용할 수 있으나 향후 많은 시료에 대한 조사연구가 필요하다고 생각하며 특히 호흡량에 근거한 자료는 아주 유익한 근거 자료가 될 것으로 판단된다.

## 사 사

이 논문은 1997년도 한국학술진흥재단의 대학부설연구소 연구비 지원에 의하여 연구되었습니다. 귀 재단에 감사드립니다.

## 참고문헌

1. 홍성구, 권순국 "농경지로 부터의 오염물질 유출부하 특성," 한국농공학회지 31(3), pp92~102 (1988).
2. 中村陽子 "農藥の環境汚染防止對策", 水質汚濁研究 14(2), pp92~95 (1991).
3. Stanford, G. and Epstein, E. "Nitrogen mineralization-water relations in soils", Soil Sci. Soc. Am. Proc. 38, pp103 (1974).
4. 茂岡忠義 "農藥へ水生生物生態系への影響評價", 水質汚濁研究 14(2), pp88~91 (1991).
5. 최연호, 이서래 "낙동강 중류 수계의 수질조사 연구 (1978-1980년)", 한국환경농학회지 1(1), pp31~38 (1982).
6. 하호성, 허종수 "김해평야의 관개수 오염에 관한 연구", 한국환경농학회지 1(1), pp22~30 (1982).
7. 김승현 박영규, 이철희 "강독여과에서 최적 취수정 위치 선정을 위한 모델개발", 대한환경공학회 지 게재 중 (1998).
8. Hallberg, G. R. "From holes to herbicides: Agriculture and groundwater quality", J. Soil Water Conserv. 41(6), pp357~364 (1986).
9. Prasad, R. and Power, J. F. "Nitrification inhibitors for agriculture, health, and the environment", Adv. Agron. 54, pp233~281 (1995).
10. 최종석 외 2인 "충남지역 논토양중 유기염소계 농약의 잔류수준", 한국환경농학회지 6(2), pp1 2~18 (1987).
11. 박창규 외 2인 "낙동강 주요 환경 구성성분 중 유기인계 농약잔유분", 한국환경농학회지 3(1), pp36~41 (1984).
12. Weed, D. A. J. and Kanwar, R. S. "Nitrate and water present in and flowing from root-zone soil", J. Environ. Qual. 25, pp709~719 (1996).
13. 토양화학분석법, 농촌진흥청, (1989).
14. Weaver, R. W., Mickelson, S. H. and Bigham, J. M. Methods of Soil Analysis Part2, Soil Sci. Soc. Am. (1994).
15. Waggoner, P. J. and Zuberer, D. A. "Response of nitrification and nitrifying bacteria in mine spoil to urea or ammonium sulfate", Soil Sci. Soc. Am. J. 60, pp477~486 (1996).
16. 김정국 "낙동강 유역 농업지대의 수질 및 토양오염 조사", 영남대학교 농학과 석사학위논문 pp31 (1997).

17. Kim, S. H. and Corapcioglu, M. Y. "A kinetic approach to modeling mobile bacteria-facilitated ground water contaminant transport", *Wat. Resour. Res.* 32(2), pp321~331 (1996).
18. Paramasivam, S. and Alva, A. K. "Nitrogen recovery from controlled release fertilizers under intermittent leaching and dry cycles", *Soil Sci.* 162(6), pp447~453 (1997).
19. Balkwill, D. L. and Ghiorse, W. C. "Characterization of subsurface bacteria associated with two shallow aquifers in Oklahoma," *Appl. Environ. Microbiol.* 50(3), pp 580~588 (1985).
20. Tate III, R. L. "Soil Microbiology," John Wiley & Sons, INC. (1995).
21. Mott, J. B. and Zuberer, D. A. "Natural recovery of microbial populations in mixed overburden surface-mine spoils of Texas," *Arid Soil Res. Rehabil.* 5, pp21~34 (1991).
22. 정종배, 김복진, 김정국 "낙동강 수계 주요 농업지대 소유역의 수질오염," *한국환경농학회지* 16(2), pp187~192 (1997).
23. Harris, P. A., and Zuberer, D. A. "Subterranean clover enhances production of 'Coastal' bermudagrass in the revegetation of lignite mine spoil," *Agron. J.* 85, pp236~241 (1993)
24. Sorensen, D. L. and Fresquez, P. R. "Nitrification potential in reclaimed coal mine spoils and soils in the semiarid Southwest," *J. Environ. Qual.* 20, pp279~285 (1991).