

## 환경화학-P4 토양에 돈분뇨살포시 토양중 이온성분의 용탈 특성

오윤근, 김태현\*, 류성필  
제주대학교 환경공학과

### 1. 서론

제주도 토양은 대부분이 화산회토로 덮여 있으며, 서·북부 해안지역에 분포하고 있는 토양은 비화산회토로 토양 분류학상 어린 토양에 속하기 때문에 자갈과 모래 함량이 많아서 투수성이 높은 특성을 가지고 있다.

또한 제주도의 중앙에는 한라산이 위치하고 있기 때문에 다양한 강수량 분포를 나타내고 있으며, 서부지역 강수량은 1,240mm, 동부지역은 1,800mm, 또한 북부와 남부지역은 각각 1,420mm와 1,770mm를 나타내고 있다. 한라산을 중심한 산간지역은 2,500mm의 높은 강수량을 나타내어 평균 1,872mm의 강수량 분포를 나타내며, 이 중 44%가 지하수로 충전되는 것으로 추정되고 있다.

토양에 빗물 또는 관개수가 들어가면 토양입자에 있는 성분이 녹아서 용액상태를 이루는데, 이 용액 중에는 주로 양이온( $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ )과 음이온( $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ )이 포함되어 있다. 이 들 성분은 식물에 의해서 영양분으로 이용되거나, 토양층을 통과하는 물과 함께 지하수로 유입되어 지하수의 주요 이온성분이 된다.

제주도내 상수도용 98개 관정을 대상으로 5년간 수질을 검사한 결과 10.6%가 질산성 질소 수질기준을 초과한 것으로 보고되었으며, 1,254건의 농업용수중 농업용수의 질산성 질소 수질기준 20mg/L를 초과한 관정은 4.5%이고, 지역별로는 서부와 북부지역이 각각 10.7%와 7.0%로서 대부분을 차지하는 것으로 보고하였다(현 등, 1996).

서·북부지역은 비화산회토가 주로 분포하고 있고 농업이 오래 동안 성행하여 왔으며, 양돈·축산 농가가 밀집되어 질산성질소 오염에 관한 여러 연구자들의 연구결과에 따르면 주요 오염원이 화학비료 및 축산분뇨에 의한 오염으로 보고되고 있다(현 등, 1996).

서·북부지역은 양돈농가에 대해 다른 지역보다도 비중이 높은 지역으로서 제주도내에서 사육되는 돼지 34만 마리 중 54%는 서북부지역에 편중되어 있다. 이것은 돼지 1마리당 1일 분뇨발생량 8.6L와 농경지 면적 63,000 ha를 고려하면 제주도 전체 농경지에 17톤/ha로 살포되어야 하는 것을 의미하지만, 서·북부 지역에 54% 편중된 것을 고려하면 40톤/ha가 살포되어야 하는 것을 의미한다. 이것은 모든 농경지에 골고루 살포되는 것을 가정한 것이지만 어느 한 지역에 편중되었을 때는 그 단위면적당 살포량은 더 커질 수 있다.

이와 같은 축산분뇨의 토양처리는 친환경농업의 추구라는 점에서 아주 중요하지만 처리시기와 방법, 살포량에 따라서 지하수의 중요한 오염원으로 작용할 수 있다(Adriano 등). 축산분뇨의 토양살포시 오염물질의 지하수 유입 경로와 시기에 대한 연구결과 암반

틈과 같은 큰 구멍을 통하여 유입되는 경우에는 수 일 내에, 토양층을 통하여 유입되는 경우에는 수주이상 걸리는 것으로 보고하였다(Gerhart, 1986). 또한 강수량, 토양의 상태(나지토양, 작물재배토양)에 따라 토양과의 물리화학적 성질 및 토양살포시 경과일에 따라 축산분뇨중에 지하수에 유입되는 정도가 다른 것으로 예상할 수 있다.

본 연구에서는 돈분뇨의 토양 살포시 경과일에 따른 이온들의 용탈 특성을 살펴보고자 하였다. 이를 위해 지하수중 질산성질소 농도가 높고, 양돈사육두수가 많은 서·북부 지역 토양의 토양을 채취하여 돈분뇨를 살포하고 1~32일(1일, 2일, 4일, 8일, 16일, 32일) 후에 일정량의 강수(100 mm)시 식물이 뿌리가 내리는 작토층 이하에서 나타나는 이온들의 용탈정도를 검토하였다.

## 2. 재료 및 방법

토양 시료는 서·북부지역에 위치한 한림읍 지역의 나지토양을 선택하였다. 채취지점의 토양은 비료를 사용하지 않았던 토양으로 상부에 약 5 cm를 제거하고 깊이 20 cm까지 토양을 채취하였다. 채취한 토양은 실험실로 운반하여 일주일간 그늘에서 풍건시키고 2 mm 체를 통과 후 사용하였다.

토양 중 성분은 양이온치환용량(CEC : cation exchange capacity), 유기물함량(OM : organic mater),  $P_2O_5$ , N, pH, 치환성 양이온 K, Na, Mg, Na을 토양화학분석법(농진청, 1999)에 준하여 3회 반복 측정하였다.

돈분뇨는 고체상이 포함된 액성상태이며 토양 채취지역 인근에 있는 양돈단지 저류조에서 펌프를 이용하여 채취하였다. 돈분뇨중 성분은 수질오염공정시험법(환경부, 2000)에 준하여 분석하였다. T-N, T-P는 UV-Vis분광광도계(HP 8453, Agilent, USA)로 각각 자외선 흡광광도법, 아스코르빈산환원법에 의해 측정하였고, 양이온( $Na^+$ ,  $NH_4-N$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ )과 음이온( $Cl$ ,  $NO_3-N$ ,  $NO_2-N$ ,  $PO_4-P$ ,  $SO_4^{2-}$ )은  $0.45\mu m$  filter(MFS-25, Advantec)로 통과시켜 Table 3의 분석조건에서 이온크로마토그래피(Dionex 500, USA)를 이용하여 분석하였다.

토양에서 이온의 용탈실험은 토주를 만들어 실내에서( $25^\circ C$ ) 수행하였다. 토주는 높이 30 cm, 내경 5.5 cm인 PVC column을 만들었고, 강정통인 한림지역 밭토양을 토양실험법(1985)에 준하여 물리성을 측정하였다. 용적밀도  $1.3 g/cm^3$ , 입자밀도  $2.74 g/cm^3$ , 공극률은 52.6 %이고, 15 cm 깊이로 충진하였다. 이때 토양내 투수속도는  $8.2 cm/day$ 이었다. 토양 칼럼 상·하부에는 토양 유동을 방지하기 위해 탈지면을 넣었고, 칼럼 하부에는 토양과 탈지면이 이탈하지 않도록 천으로 봉하였다.

돈분뇨 처리 칼럼 3개와 대조칼럼 1개를 설치하여 처리한 것과 무처리한 것을 비교하였다. 칼럼을 통과한 용탈액은  $4^\circ C$  이하로 냉장보관 후 최종 일자의 용탈액을 채수 후 동시에 성분을 분석하였다

pH와 전기전도도는 pH meter(Orion 230)와 전기전도도계(Orion 120)를 이용하였으며, Fe, Mn은 원자흡광광도계(Spectr-800, Varian, Australia)을 이용하여 각각 248.0nm, 249.5nm에서 측정하였다.  $HCO_3^-$ 는 bromocresol green 지시약으로 하여 0.02N HCl로 적정

하였다. 음이온  $F^-$ ,  $Cl^-$ ,  $Br^-$ ,  $NO_3-N$ ,  $NO_2-N$ ,  $PO_4^{3-}$ ,  $SO_4^{2-}$ 와 양이온  $Na^+$ ,  $NH_4-N$ ,  $K^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ 은 Table 3의 조건으로 용탈액을 0.45 $\mu$ m filter(MFS-25, Advantec)로 통과시켜 이온크로마토그래프로 분석하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 질산성질소( $NO_3-N$ )의 용탈 특성

Fig. 1은 돈분뇨를 134 kg T-N/ha 살포한 처리구와 대조구에서의 질산성질소의 경과일별 용탈을 비교한 것이다. 돈분 처리구의 용탈율은 대조구에 비하여 경시적으로 직선적으로 증가하는 경향을 보였다. 따라서 직선의 식은  $y=1.181x + 4.9848$ ( $r^2=0.9898$ )로 나타내어 졌으며, y축 절편 4.98은 대조구의 질산성질소 용탈율과 일치하였다. 또한 직선의 식의 기울기는 1.181로서 1일당 질산화율에 해당되는 것으로 해석되었다. 이 식에서 x는 처리 후 경과일수를 나타내며, y는 용탈액중 질산성질소의 농도로서 처리 후 비가 오기 까지 일수가 길어질수록 용탈액의 질산성질소의 농도는 높아진다는 것을 의미한다.

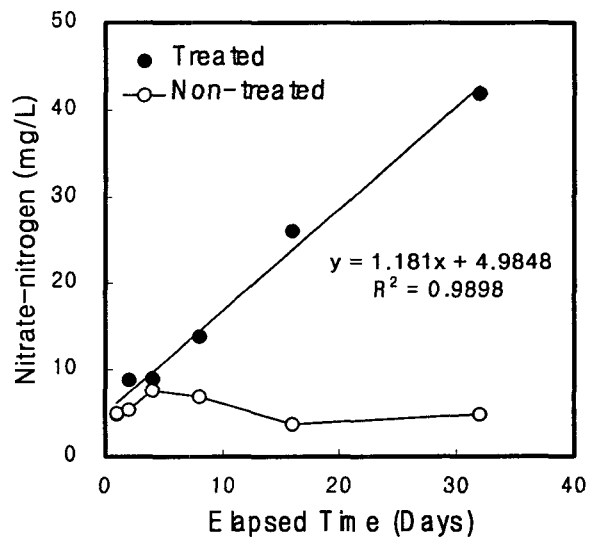


Fig. 1. Comparison of Nitrate-nitrogen concentration in leachate between non-treated and treated soil columns with elapsed days.

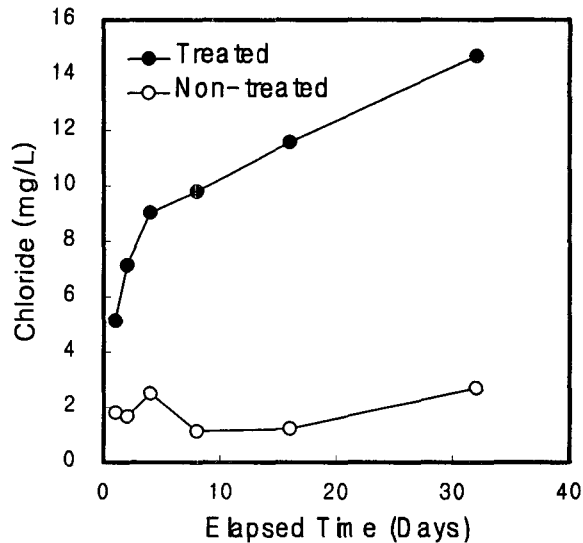


Fig. 2. Comparison of chloride concentration in leachate between non-treated and treated soil columns with elapsed days.

### 3.2 염소이온( $\text{Cl}^-$ )의 용탈 특성

염소이온 용탈율은 대조구에서 초기 2 mg/L에서 32일 경과 후에도 3.0 mg/L로 일정하게 나타난 반면, 처리구에서는 시험기간 중 5 mg/L에서 15 mg/L로 증가하였는데, 1일에서 4일까지는 1일 1mg/L로 증가하다가, 그 후에는 28일 동안 0.2 mg/L/day로 증가하여 용탈속도가 1/5로 감소하였다(Fig. 2).

이와 같이 처리 후 4일을 전·후해서 염소이온의 경과일별 용탈속도가 급격하게 감소하는 것은 유기물의 분해속도 및 토양의 pH 변화 등 토양환경의 변화에 기인하는 것으로 여겨졌다.

또한 돈분뇨의 처리구의 염소이온 살포량은 37 kg  $\text{Cl}^-$  /ha로서 대조구에 비해서 3 ~ 12 mg/L 높게 나타났는데, 이는 돈분뇨의 처리의 영향이 초기부터 나타나는 것을 의미하였다. 이처럼 초기부터 영향을 나타내는 이유는 염소이온이 음이온을 띠고 있기 때문에 토양입자의 음이온과 반발력에 의하여 물의 이동과 같기 때문에 나타나는 현상으로 생각되었다.

## 4. 요약

돈분뇨를 토양에 살포시 경과일에 따른 이온들의 용탈 특성을 살펴보기 위해 질산성 질소 농도가 높고, 양돈사육두수가 많은 서·북부 지역의 토양에 돈분뇨를 살포, 비살포시 1 ~ 32일 경과 후에 일정량의 강수(100mm)시 용탈되는 각종 이온의 용탈 정도를 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

토양에 134 kg T-N/ha로 살포시 질산성질소는 1.18 mg/L·day의 질산화가 이루어졌고, 37 kg  $\text{Cl}^-$  /ha로 살포한 염소이온의 용탈율은 1일에서 4일까지는 1.0 mg/L·day로 증

가하다가, 그 후  $0.2 \text{ mg/L} \cdot \text{day}$ 로 용탈속도가 1/5로 감소하였다. 그러나 대조구는 질산성 질소, 염소이온 모두 거의 변화가 없었다.

#### 참 고 문 헌

- Adriano, D.C., P. E. Pratt, and S.E. Bioshop, 1971, Nitrate and salts in soils and groundwaters from land of diary manure, Soil Sci, Soc. Am. proc. 35 : 759-762.
- Gerhart, J. M, 1986, Ground-water recharge and its effects on nitrate concentrations beanath a manured field site in Pennsylvania, Ground water. 24:483-489.
- Higston, F.J., R.J., Atinkinson, a.m. Posner, and J.P. Qurik, 1967, Specificadsorption of anion, Nature, 215, 1459-1461.
- Higston, F.J., R.J., Atinkinson, a.m. Posner, and J.P. Qurik. 1968, Specific adsorption of anions on geothite, Trans, 9th. Int.Congr.Soil Science, 1, 669-678.
- 현익현, 1996, 질산성질로 오염된 지하수의 오염원에 관한 연구, 제주대학교 석사논문.
- 농촌진흥청, 1999, 토양화학분석법, 농업기술연구소.
- 송영철, 김성홍, 김길성, 오순미, 김태현, 김세라, 1998, 제주도 지하수중 수질특성, 제주도 보건환경연구원보, 9, 163-188.
- 송영철, 고용구, 유장걸, 1999,  $\delta^{15}\text{N}$ 을 이용한 제주도 지하수 중의 질산염오염원 조사, 대한지하수환경학회지 6, 107-110.
- 윤순강, 1994, 요소와 가축분에서 유래한  $\text{NO}_3\text{-N}$  및 동반 양이온의 토양중 행동, 서울대학교 박사학위 논문