

## 판별분석을 이용한 토지이용별 토양 특성 변화 연구

고경석, 김재곤, 이진수, 김탁현, 이규호, 조춘희, 오인숙, 정영욱

한국지질자원연구원 지질환경재해연구부

e-mail : kyungsok@kigam.re.kr

### 요약문

The physical and chemical characteristics of soils in a small watershed were investigated and the effect of geology and land use on soil quality were examined by using multivariate statistical methods, principal components analysis and discriminant analysis. It was considered that the accumulation of salts in the farmland soils indicated by electrical conductivity, contents of cations and anions and pH was caused by fertilizer input during cultivation. The contents of inorganic components are increased as following order: upland > orchard > paddy field > forest. The results of two discriminant analyses using water extractable inorganic components and their ratios by land use were also clearly classified by discriminant function 1 and 2. In discriminant analysis by components, discriminant function 1 indicated the effect of fertilizer application and increased as following order: upland > orchard > paddy field > forest soil.

**Key words:** soil characteristic, geology, farmland soil, discriminant analysis

### 1. 서언

경작과 축산 등의 농경활동은 토양, 지표수 및 지하수에 있어 질을 저하시키는 등 최근 들어 농업이나 환경적 문제에 있어 중요한 관심사로 부각되고 있다 (김연태와 우남칠, 2003). 유럽 및 구미에서는 농경지에 집적된 영양염류의 유출이 지표수 부영양화의 주원인으로 인식하여 1970년대부터 농경지 영향에 의한 부영양화에 대한 체계적인 연구가 진행되어 왔으며(Schröeder *et al.*, 2004), 특히 지표수 부영양화의 제한인자(limiting factor)인 인의 토양 내 거동, 토양특성별 집적 특성, 지표유출특성에 대한 심도 있는 연구가 진행되어 왔다(Magurie and Sims, 2002). 본 연구에서는 부산광역시 상수원인 회동저수지 상류부 수영강 유역에 발달된 토양을 대상으로 표토의 물리화학적 특성을 조사하여 지질(화강암, 안산암) 및 토지이용별(논, 밭, 과수원, 산림)로 그 특징을 고찰하였다. 토양 특성 조사결과는 토양 용출 성분 농도와 성분비를 이용하여 다변량 통계분석법인 주성분 및 판별분석에 의하여 지질 및 토지이용에 따른 토양 특성의 차이를 알아보고자 하였다. 특히 판별분석을 이용하여 토양의 물리화학적 특성이 토지이용, 즉 경작에 의해 투입된 비료 성분에 의한 토양 내 무기성분 증가와의 상관관계를 도출함으로서 향후 상수원 보호를 위한 토지이용계획 수립의 기초 자료를 확보하고자 하는 것이 연구의 목적이다.

## 2. 연구방법 및 결과

지질 및 토지이용에 따른 토양특성을 조사하기 위하여 30cm 이내의 표토시료를 채취하였다. 토양시료는 총 128개가 채취되었으며 지질별로는 화강암과 안산암 지역에서 각각 80개와 48개를 채취하였고, 토지 이용별로는 임야, 논, 밭, 과수원에서 각각 32개를 채취하였다. 시비에 의한 단기적인 토양 비료농도의 불균질성에 의한 시료의 변화 요인을 최소화하기 위하여 토양시료는 파종과 시비전인 3월초에 실시하였다. 채취된 토양 시료는 실내에서 풍건하고 고무 스토퍼로 부드럽게 분쇄한 후 2mm 이하 입도의 시료를 폴리에틸렌병에 담아 보관하고 실험에 이용하였다. 토양시료의 용출 특성을 알아보기 위하여 5g의 토양과 50ml의 증류수를 원심분리튜브에서 1시간 동안 항온수조에서 반응시키고 원심분리하여 토양입자를 제거한 후 0.45μm 멤브레인 필터로 여과하였다. 반응 여과용액의 pH와 전기전도도(EC)는 Horiba pH/Conductivity 측정기를 이용하여 측정하였다.

주성분 및 판별 분석에는 토양시료 128개에 대한 용출실험으로 얻어진 pH, 전기전도도(EC), 양이온( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ), 음이온( $\text{F}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) 및 작열감량(ignition loss)의 사용되었다. 양이온 및 음이온의 상대값( $\text{Ca}/\text{Cl}$ ,  $\text{Na}/\text{Cl}$ ,  $\text{NO}_3/\text{K}$ ,  $\text{Na}/\text{K}$ ,  $\text{K}/\text{Cl}$ ,  $\text{Ca}/\text{Mg}$ ,  $\text{K}/\text{P}$ ,  $\text{NO}_3/\text{Cl}$ ,  $\text{Ca}/\text{K}$ ,  $\text{Cl}/\text{SO}_4$ ,  $\text{Na}/\text{K}$ ,  $\text{Ca}/\text{Na}$ , SAR) 또한 판별분석의 독립변수 값으로 이용되었다.

## 3. 연구 결과 및 토의

### 3.1. 지질 및 토지이용별 토양 특성

연구지역내 발달한 토양의 토성은 점토질 양토(clay loam)에서 사질 양토(sandy loam)이며 화강암에서 발달한 토양이 안산암에서 발달한 것보다 상대적으로 조립질 입도분포를 나타내었다. 안산암에서 발달한 토양은 실트나 점토의 양이 상대적으로 많은 점토질 양토(clay loam)에서 실트 점토질 양토(silty clay loam)의 조직을 가지는 것이 확인되었다. 지질별 특성을 살펴보면 영양염류인  $\text{NO}_3^-$ 와 총인, 양이온( $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ) 및 전기전도도(EC)의 함량이 안산암에서 높게 나타나며, pH는 화강암 토양에서 높은 값을 보여주었다. 이러한 무기성분의 차이는 안산암 토양이 화강암 토양보다 점토성분함량이 높기 때문에 상대적으로 특수성이 낮아 침투되는 강수나 관개용수에 의해 무기성분이 지하수나 지표수로의 유출이 상대적으로 적을 가능성이 높기 때문인 것으로 사료된다. 안산암 분포 지역에서 영양염류인 질산염과 총인의 함량과 함께 양이온 및 전기전도도가 높은 것은 토양내 무기성분의 증가가 주로 농경, 즉 시비 등에 의해 증가된다는 것을 의미한다. 상대적으로 유색광물(mafic mineral)이 화강암보다 풍부한 안산암은 풍화과정에서 상대적으로 많은 무기 이온이 용출되어 토양에 잔류하며 이에 따라 안산암 토양이 화강암 토양보다 상대적으로 높은 무기성분의 함량을 가지는 요인이 되는 것으로 사료된다. 안산암에서 낮은 pH는 경작으로 인한 토양의 산성화가 화강암 토양보다 안산암에서 심하게 진행되고 있음을 보여준다.

농경지에 염류집적(EC, 양이온, 음이온) 및 토양 pH 증가는 경작과정에 투입된 비료의 영향에

의한 것으로 판단된다. 임야 토양에 비해 경작지 토양의 상대적으로 낮은 유기물 농도는 경작과정의 경운에 의하여 유기물의 산화촉진 및 작물 수확에 기인하는 것으로 판단된다. 수용성 인의 농도는 임야<논<과수원<밭 순으로 나타났다. 강우에 의해 농경지 특히 밭과 과수원의 토양에 집적된 질산성 질소와 인이 유출되어 상수원에 유입될 우려가 있다. 동일한 토지이용형태에서 토양의 총 인 함량은 안산암>흑운모>미문상 화강암에서 발달된 토양의 순으로 나타났으며, 동일 지질에서 발달된 토양 중에 총 인의 농도는 밭>과수원>논>임야 토양 순으로 나타났다.

황산염( $\text{SO}_4^{2-}$ )은 논과 밭 토양이 산림과 과수원 토양보다 높은 값을 가지며, 논 토양에서 가장 높은 값을 보여주었다. 논 토양에서 황산염의 높은 농도는 담수 상태의 환원조건에서 환원된 황산염이 황화광물형태로 침전되었다가 시료건조 및 용출 실험시 산소농도가 포화상태인 중류수와의 반응에 의하여 황산염 형태로 다시 용해되는 것에 기인하는 것으로 사료된다. 염소( $\text{Cl}^-$ )는 산림에서 가장 높은 값을 나타내었으며  $\text{Na}^+$ 와  $\text{F}^-$ 는 토지이용에 따른 큰 차이는 보여주지 않았다.

### 3.3. 판별분석을 이용한 토지이용 상관성 분석

본 연구에서는 토양 용출 실험에서 얻어진 토양 특성 자료가 경작, 산림 등 토지이용도에 따라 차이를 보여주는지를 확인하기 위하여 정준판별분석(canonical discriminant analysis)이 수행되었다. 판별분석은 두 종류로 나누어 수행되었으며, 분류변수(class variable)에는 모두 현장에서 확인된 토지이용도, 즉 4개의 그룹인 산림(forest), 밭(upland), 논(paddy), 과수원(orchard)이 이용되었다.

판별분석에서 얻어진 3개의 판별함수(discriminant function)중 초기 2개의 판별함수는 그룹간 분산의 91.6%를 설명한다(유의확률=99.9%). 판별함수 1(DF1)은 고유값이 3.343이고 총 분산(total variance)의 69.1%를 설명하며 매우 높은 유의성(99.99%)을 가짐을 알 수 있었다. 판별함수 1은 전기 전도도(EC)와  $\text{NO}_3^-$ 가 가장 중요한 판별 변수임을 알 수 있었으며, 그 다음으로 총인, 작열감량(IL), pH, Ca가 판별함수 1에 영향을 미침을 알 수 있었다. 판별함수 1이 비료성분인  $\text{NO}_3^-$ , 총인( $P_{\text{tot}}$ )에 의해 주로 설명이 되어진다는 사실은 특히 비료성분의 투입에 의해 토양용출성분이 토지이용별로 차이를 보여주는 것임을 확인할 수 있는 것이다. 판별함수 2(DF2)은 고유값이 1.089이고 총 분산(total variance)의 22.5%를 설명하며 판별함수 1과 마찬가지로 매우 높은 유의성(99.99%)을 가진다. 판별함수 2는 표준화된 판별함수계수가  $\text{K}^+$ 가 가장 높은 값을 가지며 전기전도도(EC),  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  순서로 중요성을 가짐을 알 수 있었다.  $\text{Na}^+$ 와  $\text{Cl}^-$ 은 산림과 경작지를 구분하는 중요한 변수임이 앞 절에서 확인된 바 있으며 판별함수 2는 이러한 특징을 잘 나타낸다.

판별함수 1(DF1)과 판별함수 2(DF2)에 대한 각 그룹별 점수(case score) 분포와 각 변수들의 판별함수 인자적재(factor loadings) 값은 Fig. 1에 나타나 있으며, 토지이용에 따라 각 그룹은 판별함수 1과 2에 의하여 효과적으로 구분됨을 알 수 있다. Fig. 1a에서 판별함수 1은 총인, pH,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{K}^+$  등에 의해 양의 영향을,  $\text{Cl}^-$ 에 의해서는 양의 영향을 받으며,  $\text{SO}_4^{2-}$ 는 판별함수 2에 가장 큰 음의 영향을 미친다. 판별함수 1은 에서 밭, 과수원, 논, 산림 토양 순서로 증가하며, 이에 의해 경작지와 산

림이 구분되어진다(Fig. 1b). Fig. 1b에서 밭과 과수원 토양은 일부 중복되며 부분적으로 유사한 특징을 가짐을 확인하였다. 논 토양은 판별함수 2에 의해 밭, 과수원 및 산림토양과 명확하게 구분되어지는데, 이는 판별함수 2에서 음의 영향을 미치는  $\text{Na}^+$ 와  $\text{SO}_4^{2-}$ 가 논 토양에서 판별함수 2의 감소에 중요한 역할을 하기 때문인 것으로 판단되었다. 산성환경 하에 놓이는 다른 밭과 과수원 토양과는 달리 논 토양은 담수조건하 환원환경에서 황화광물의 침전이 발생하여 용출 실험시  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 증가가 나타난다. 산림토양도 산화환경에 놓이며, 따라서 판별함수 2는 토양의 산화환원 조건을 지시하는 인자로 사용될 수 있다.

판별분석은 각 토양시료들이 현장조사에서 얻어진 토지이용 특성과 토양 특성 자료에 의한 판별분석 결과가 어느 정도 일치하는지를 확인할 수 있게 해준다. 판별분석 결과 전체 자료의 초기 설정값과 예측값 사이의 오차는 14.06%이며, 판별분석에 의해 예측된 자료는 산림과 밭 토양으로 분류되는 시료가 각각 34, 38개로 약간씩 증가하며 밭과 논토양은 모두 28개로 초기의 32개보다 12.5% 씩 감소하였다. 이러한 것은 현장조사에 확인할 수 있었듯이 과수원 토양으로 분류된 수목원들이 논에서 형질변경을 한 것들에 의해 나타나는 특성으로 사료된다. 또한 밭의 경우에도 오랫동안 사용하지 않아 산림과 같이 된 곳들이 있어 이러한 특징을 나타내는 것으로 판단된다. 이러한 토양특성에 의한 판별분석 결과는 토지이용의 변화를 추정할 수 있는 기법으로 사용될 수 있을 것이다.

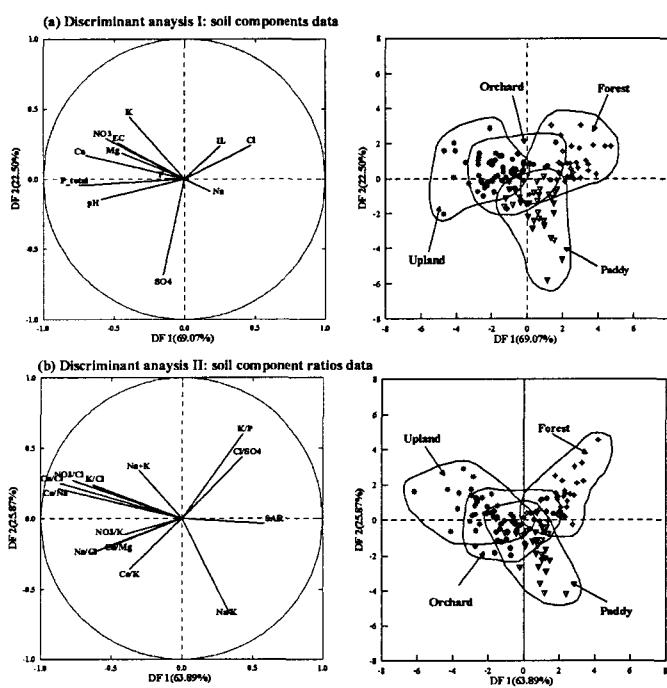


Fig. 1. The results of discriminant analysis for land use of soil extraction data.

### 참고문헌

- 김연태, 우남칠 (2003) 축사가 밀집된 농촌지역 천부지하수의 질산염 오염특성. *한국지하수토양환경학회지*, v. 8(1). p. 55-67.
- Maguire, R.O. and Sims, J.T. (2002) Soil testing to predict phosphorus leaching, *J. Environ. Qual.*, v. 31, p. 1601-1609.
- Schröeder, P.D., Radcliffe, D.E., Cabrera, M.L., and Belwe, C.D. (2004) Relationship between soil test phosphorus and phosphorus in runoff: Effects of soil series variability, *J. Environ. Qual.*, v. 33, p. 1452-1463.