

## 우분퇴비 처리에 따른 다층구조 토양내 음이온의 용출특성 변화

김필주 · 정덕영 · 이병열<sup>1)</sup>

충남대학교 농과대학 농화학과, <sup>1)</sup> 농업과학기술원 농업생태과

### Elution Patterns of Anions in Multi-layered Soils amended with Cow Manure Compost

P. J. Kim, D. Y. Chung, and B. L. Lee<sup>1)</sup>

*Dept. Agri. Chem., Chungnam National Uni.,  
220, Kung-dong, Yousung-ku, Taejon, Korea.*

<sup>1)</sup>*Dept. Agro-Environment, ASTI, RDA, Suwon, Korea.*

### ABSTRACT

To investigate the effects of cow manure compost(CMC) on soil and water environment as non-point source, the elution patterns of anions were determined in multi-layered soil columns which consisted of one top and one bottom in combination. The top soil columns were uniformly packed with Ap horizon soils amended with air-dried CMC at different ratios(0, 2, 4, 6%, wt/wt), the bottom ones were packed with of B horizon soils of 15, 30, and 45cm in length. After saturating the each soil column, the leachate were collected from the bottom of the column while the double-ionized water was applied from the surface of the column by constant head method. From the hydraulic conductivity and anion eluted were measured in the leachate. Each saturated hydraulic conductivities for top and the bottom soils were  $3 \times 10^{-4}$  cm/sec and  $1.6 \times 10^{-3}$  cm/sec. Most of water soluble chloride and sulfate, having non-specific adsorption characteristics onto the soil particles, were eluted within 1 PV, showing that there was no apparent retardation of anion movement with increasing CMC contents in the top soils. The effect of soil depths on anion movement were similar to the results of CMC contents. Sulfate of having both of non-specific and specific adsorption characteristics was also recovered in the effluent within 1 PV, while the elution curves were slightly skewed to the right showing that the CMC affected the movement of sulfate. Phosphate of specific adsorption characteristics was hardly eluted within 5 PV.

Key word : Elution Pattern, Solute, Anion, Multi-layer, Organic Matter, Compost

## 요 약 문

비점오염원으로 토양과 수환경에 영향을 미치는 우분퇴비의 영향을 조사하기 위하여 상부와 하부에 연결한 다층토양칼럼을 가지고 음이온의 토양으로부터 용출경향을 조사하였다. 상부 칼럼은 건조 우분 퇴비를 0, 2, 4, 6%의 비율로 Ap토양에 처리한후 균일하게 채웠고 하부칼럼은 15, 30, 45cm의 길이의 아크릴칼럼에 B층 토양을 용적비중  $1.3\text{g/cm}^3$ 으로 채운 후 결합하였다. 이렇게 조합된 칼럼을 충분히 포화시킨 후 증류수를 칼럼의 상부에서 일정 수두높이를 유지하면서 칼럼의 하부에서 수집되는 용출수의 수리전도도와 용출된 음이온의 농도를 조사하였다. 상부와 하부의 각각의 수리전도도는  $3 \times 10^{-4}\text{cm/sec}$ 와  $1.6 \times 10^{-3}\text{cm/sec}$  이었고 비특정흡착특성을 지니는 대부분의 수용성 염소와 황산이온은 90%가 0.2 공극수량에서 그리고 대부분의 음이온은 1 공극수량 이내에 용출되는 경향을 보였는데 이는 이들 이온이 토양에 가해진 유기물에 의해 이동에 영향을 받지 않았음을 보여주는 것이다. 또한 이들 음이온이 통과하는 토양의 깊이도 이들 음이온의 이동에 영향을 주지 않았음을 알 수 있었다. 그러나 비특정과 특정 모두의 흡착특성을 가지는 황산이온의 경우 용출곡선이 오른쪽으로 약간 이동하여 용출이 지연되는 경향을 보여주고 있다. 그리고 인산이온의 경우 조사된 5 공극수량 이내에서 전혀 용출되지 않았다.

**주제어** : 용출경향, 음이온, 다층, 유기물, 퇴비

## 緒 言

경제성장에 따른 식생활양식의 변화로 육류의 소비량이 꾸준히 증가되고 있으며, 이에 따라 축산업의 규모도 지속적으로 증대되어 왔다. 전국의 소 사육호수는 1984년 1073천 가에서 1994년 566천 호로 약 47% 이상의 수적 감소가 있었으나, 사육두수는 1984년 2651천 마리에서 1994년 2944천 마리로 약 11%의 증가가 있었다(농수산부, 1995).

이와 같은 가축의 사육 두수의 증가로 축산 폐기물의 배출량은 44,409천톤(1995년 기준)으로 전체 유기성 폐기물 발생량의 13.9%를 차지하였다. 이중 약 63%가 퇴비로 농업적으로 재활용되고 있으며, 나머지는 노지에 야적된 채 방치되거나 투기되고 있다(농수산부, 1995).

농지의 지력 증진을 위해 농진청에서는 유기질 비료의 지속적인 사용을 추천하고 있으며, 작물의 종류에 따라 다소의 차이는 있지만 10a당 평

균 1.5~3 Ton의 사용을 추천하고 있다. 대전 주변지역 시설재배 농가의 유기질비료 사용량을 자체적으로 조사한 결과 약 4 Ton/10a가 시설 채소재배에 사용되고 있으며, 일부농가에서는 8~12 Ton/10a까지 과량으로 사용하고 있었다. 이의 상당부분은 가축분으로 만들어진 퇴비이며, 이들의 과량시비에 따른 토양내 염류의 집적과 지속적 관수 및 우수의 유입으로 지하수로 용탈되거나 지표면침식에 의해 주변 소수계 및 지하수를 오염시키는 요인이 되고 있다. 특히 축산분뇨 퇴비중에는 과량의 용존 무기물과 유기물을 포함되어 있어 주변 소수계를 오염시키는 중요한 비점오염원으로 간주되고 있다. 축분 퇴비내에는 무기양이온과 음이온, 그리고 소량의 유기산과 당류등이 있는데 이중  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$  등은 하천의 부영양화를 유발시키는 물질로 알려져 있다. 그러나 이들 음이온중  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$  과 같은 음이온들은 토양입자의 결합력이 약하여 토양수에 의해 쉽게 용탈되어 하천 및 지하수



## 2. 이온의 용출특성 조사

### 1) 토양 칼럼제작

Ap층 토양칼럼은 2mm체를 통과한 A층 건조토양에 우분퇴비를 건물비로 0, 2, 4, 6% (wt/wt)를 각각 혼합 처리후 Acryl Column(5cm ID×25cm L)에 현장과 비슷한 용적밀도를 1.3g/cm<sup>3</sup>으로 조정하여 15cm 깊이로 충전하였다. B층 토양칼럼은 B층의 2mm이하의 토양을 Acryl Column(내경 5cm)을 각각 길이 15, 30, 45cm의 3종류로 나누어 용적밀도를 A층과 같은 1.3g/cm<sup>3</sup>으로 균일하게 각각 충전하였다. 이와 같이 제작된 각각의 칼럼을 가지고 다층토양칼럼을 Fig. 2에서와 같이 각 비율로 우분퇴비가 처리된 ①의 Ap층 Column과 ②의 15, 30, 45cm의 각각의 B층 Column을 각각 서로 연결하여 30, 45, 60cm의 다층토양칼럼을 제작하였다.

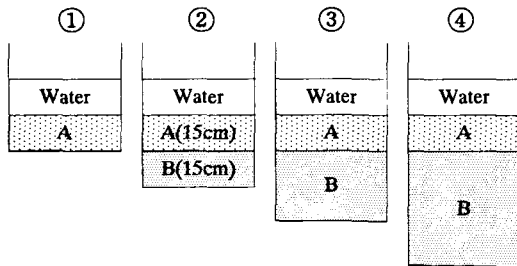


Fig. 2. Schematic diagram of soil column used for anion elution patterns. ①:a single layered column; ②~③:a multi-layered column.

### 2) 음이온의 용출특성 조사

상기의 처리 조건에 의해 충전된 칼럼을 증류수로 하향 포화 시킨 후 칼럼의 상부 표면에서 증류수를 일정한 수두로 유지하면서 칼럼하부로 용출되는 용출수내의 음이온의 함량을 각각의 용출량별로 더한 누적용출량으로 조사하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 토양과 우분퇴비의 이화학적 특성

본 실험에 이용한 토양과 우분퇴비의 이화학적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Physico-chemical properties of soils and cow manure compost used in column test

	pH	EC (dS/m)	Texture	OM (%)	TKN (%)	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> (cmole/kg)
Ap	6.4	4.8	SiL	5.1	0.18	0.18
B	4.7	0.8	L	< 1%	ND	0.11
CMC	8.3	56.0	-	41.9	1.93	10.7

Note) \* water soluble NO<sub>3</sub><sup>-</sup> from the sample

조사대상 토양의 토성은 미사질(Silt loam)로써, Ap층 토양의 전기전도도(EC)는 4.8dS/m, 수용성 음이온의 함량은 Cl<sup>-</sup> 0.25cmol/kg, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 0.18cmol/kg, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 0.64cmol/kg의 함량을 보였다. 이에 반해 B층 토양은 pH 4.7, EC 0.8 dS/m의 약산성이고, 수용성음이온의 농도는 A층에 비하여 아주 낮은 농도로 조사되었다. 이와 같은 두 층간의 화학적 특성의 차이는 비닐하우스 내부 환경, 즉 토양수분의 증발에 의한 수용성 염류의 지표면 집적에 의한 것으로 해석되며(しまだながお, 昭和58年), 김필주등(1997 a와 b)의 조사 결과에서 처럼 다져짐(Compaction)에 의한 토양 물리성 악화, 특히 B층의 낮은 투수성(Infiltration)으로 인하여 염류집적이 A층에 편중된 것으로 보인다. 우분퇴비의 전기전도도(EC)는 약 56dS/m였고 수용성 음이온은 Cl<sup>-</sup> 18.6cmol/kg, NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 10.7cmol/kg, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 2.59cmol/kg로 A나 B층에 비하여 높은 농도로 함유되어 있었으며, 특히 A나 B층에서 발견되지 않은 수용성 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>가 2.91cmol/kg 함유되어 있었다. 따라서 우분퇴비와 같이 유기물을 토양에 시

용시 수용성음이온의 일부는 작물의 영양원으로 이용되고 남은 음이온이 토양내 집적되거나 토양수에 의해 이동되어 주변의 지하수나 수계로 전이되어 오염을 유발할 가능성이 높다.

## 2. 음이온의 용출 특성

우분퇴비 처리별 토양내 주요 음이온의 이동특성을 A층의 단일층과 A와 B층이 연결된 다층도양칼럼의 용출실험을 실시하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

### (1) Chloride의 용출 특성

A층과 B층 토양내 수용성 Chloride 함량은 각각 0.25와 0.078 cmol/kg 이었으며, 이는 15cm 길이의 A층 토양 230g내 0.56cmol/kg의 Chloride가 존재하며, 동일 내경의 15, 30, 45cm 길이의 B층 토양 칼럼내 0.18, 0.36, 0.54cmol/kg의 Chloride가 각각 존재하게 된다. 각 토양조건에 18.6cmol/kg의 Chloride가 포함된 우분퇴비를 A층 토양에 건물비로 2, 4, 6%(wt/wt) 혼합 처리시 Chloride는 각각 1.84, 2.46, 3.04 me로 각각 1.24, 1.90, 2.48 me씩 증가하게

된다. Fig. 3에서 처럼 각 처리조건에 따른 Chloride의 용출은 유기물 처리량이 증가함에 따라 일정 폭으로 증가되었으며, 전체 수용성 Chloride의 90% 이상이 0.2 PV 안에 용출 되었다. 그러나 유기물 처리량과 토양 깊이 증가에 따른 Chloride의 용출속도 지연은 발생되지 않았다. 각 처리구에서 칼럼내 전체 수용성 Chloride 함량에 대한 용출 Chloride량의 비로 나타내는 회수율은 87~121% 이었으며, 거의 대부분의 처리구에서 전체 수용성 Chloride의 100%내외가 회수되었다. 본 결과를 통해 토양수에 의해 용출되는 Chloride의 대부분은 수용태로 존재하여 토양수 이동선단(Soil water front)과 함께 이동되는 Front flow 특성을 보였다.

### (2) Nitrate의 용출 특성

A층 토양의 수용성  $\text{NO}_3^- \text{N}$ 는 0.18cmol/kg 정도로 존재하여 15cm 칼럼내 순수 토양에는 약 0.4cmol/kg, 우분퇴비를 2, 4, 6%(wt/wt) 처리시 수용성  $\text{NO}_3^- \text{N}$ 는 각각 1.15, 1.51, 1.83cmol/kg 까지 증가하는 것으로 판단된다. B층 토양내  $\text{NO}_3^- \text{N}$ 는 0.18cmol/kg이었으며, 동일 내경의

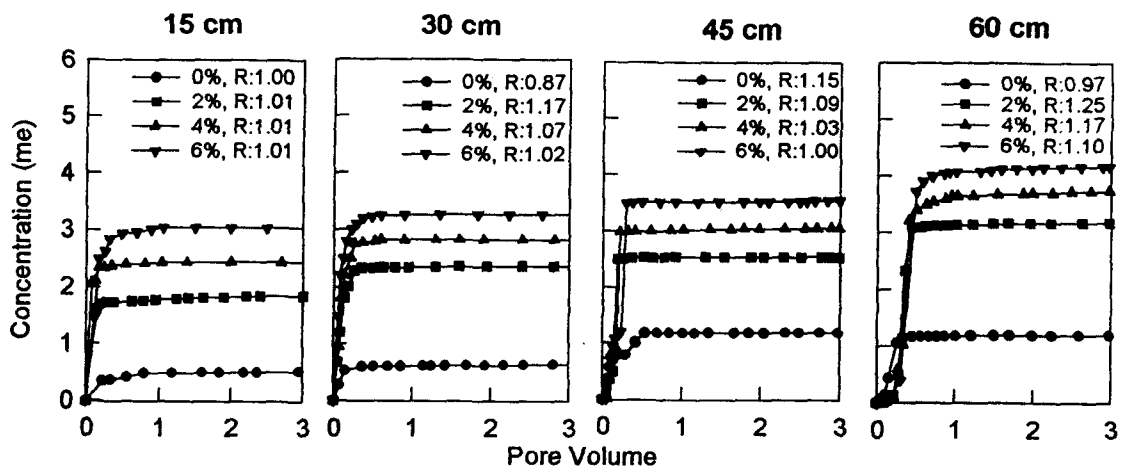


Fig. 3. Cumulative elution patterns of chloride from unsaturated soil columns of a single - and 3 lengths of a multi-layers treated with the CMC into Ap horizon soils at 4 different ratios.

15, 30, 45cm의 칼럼 토양중량내에는 0.28, 0.56, 0.84cmol/kg의  $\text{NO}_3^-$  N가 존재한다. 이러한 특성을 가진 각각의 토양칼럼을 증류수를 이용하여 용출시험을 한 결과, 각각의 주어진 조건에서 90% 이상의  $\text{NO}_3^-$  N가 0.2 PV안에 용출되었다. 한편 전체 수용성  $\text{NO}_3^-$  N중 94~127% 내외가 용출되어 유기물이 6% 처리된 토양칼럼을 제외한 처리구에서 100%이상의 회수율을 보였다. 따라서  $\text{NO}_3^-$  N도 Cl-에서 처럼 유기물 처리에 의한 토양칼럼에 잔존되는  $\text{NO}_3^-$  N의 양은 극히 미미한 것으로 조사되었다. 이는 비특이적 흡착반응(Non specific adsorption)을 하는  $\text{NO}_3^-$  N의 water front flow의 특성에 기인하는 것으로 판단된다. 그러나 4% 이상의 유기물 처리 칼럼에서의 증가된 회수율은 조사기간동안의 지속적 포화수분상태와 수분치환, 그리고 질산화성균등의 활동에 의한 유기태 질소의 질산화에 의한  $\text{NO}_3^-$  N 용출량이 증대된 것으로 추정된다. 따라서 온도와 수분조건별 질소전환을 연구가 있어야 될 것으로 판단된다.

### (3) Sulfate의 용출 특성

A층 우분퇴비를 0, 2, 4, 6%로 혼합 처리시 토양내 수용성 Sulfate는 각각 1.47, 1.49, 1.62, 1.73cmol/kg 이었으며, 우분퇴비가 처리되지 않은 15, 30, 45cm의 B층 토양내 Sulfate는 약 0.11, 0.22, 0.33cmol/kg으로 계산되었다.

용출시험 결과 각 조건에서 Sulfate는 약 0.8~1 PV 안에 용출이 최고점에 도달하였으며, 15cm A층 토양칼럼내에서 Sulfate에 대한 회수율은 99~105% 정도였고, B층 토양이 연결된 다층토양 칼럼내에서는 30cm에서는 유기물 처리량이 증가할수록 회수율이 감소하여 무처리구에서는 약 116%, 의 회수율, 2%, 4%와 6% 우분퇴비처리구에서는 각각 100, 94, 86%로 회수율이 감소하는 경향을 보였다. 45cm 칼럼의 경우 Sulfate의 회수율은 무처리구, 2, 4, 6%의 처리구에서 각각 109%, 86, 92, 83%로, 60cm의 경우 무처리구, 2, 4, 6%의 처리구에서 각각 109, 99, 96, 90%의 회수율을 보였다. 이상의 결과로 볼 때 Sulfate의 용탈은 토양에 가해진 유기물의 함량과 접촉하는 시간에 영향을 받음을 알 수 있다. 즉 비특이적흡착반응과 특이적반응특성의 양면성을 가지는 sulfate가 A층 유기물과 B층 토양과의 흡착

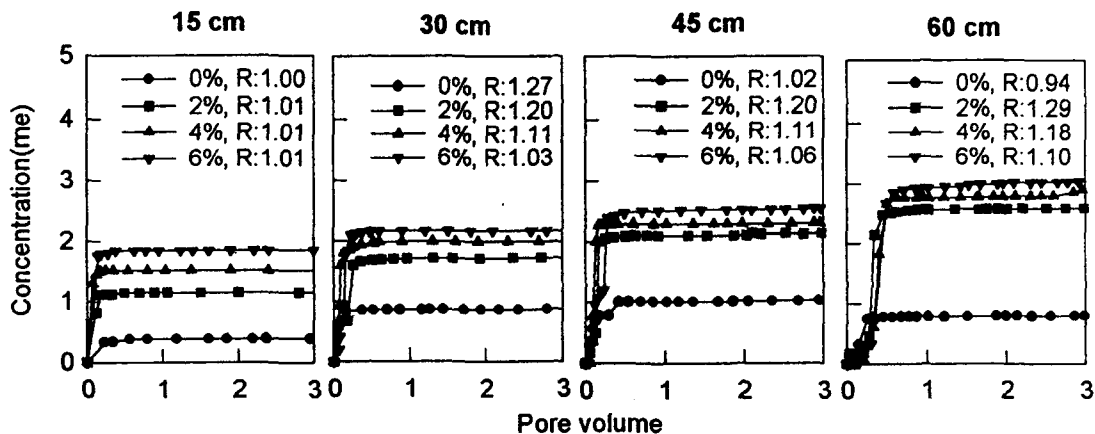


Fig. 4. Cumulative elution patterns of nitrate from unsaturated soil columns of a single - and 3 lengths of a multi-layers treated with the CMC into Ap horizon soils at 4 different ratios.

반응을 하여 회수율이 감소된 것으로 추정한다 (Chang, and Thomas, 1963).

(4) Phosphate 용출특성

Phosphate는 토양입자와의 강한 흡착반응을 하여 대부분 토양내 고정태나 치환태로 있어 본 시험에 이용된 A층과 B층의 토양에서는 수용성 Phosphate는 검출되지 않은 반면, 우분퇴비를 추출한 용액에서는 약 2.69 me/100g가 검출되었다.

본 조사에 이용된 모든 처리의 칼럼용출 시험 결과 Phosphate의 용출은 관찰되지 않았다. 이는 Phosphate의 반응특성, 즉 토양과의 특이적 반응에 의한 강한 결합(Higston, 1967, 1968) 또는 본 토양의 존재하는 Aluminum과 흡착·침전된 형태로 존재(Miller, et al., 1990; Sanchez and Uehara, 1980; Amarasiri and Olsen, 1973)하여 용출되지 않는 것으로 판단된다. 따라서 우분퇴비내에 존재하는 Phosphate는 토양입자와 쉽게 반응하여 토양수에 의한 이동도 토양칼럼의 상층부에 집적할 것으로 판단된다.

이상의 결과를 종합할 때, 우분퇴비를 토양에

처리시 토양수에 의해 이동되는 주요 음이온들은 주로 Chloride, Nitrate와 Sulfate이며, Phosphate는 토양교질과의 강한 결합에 의해 지하수나 인접수계로의 이동성은 작을 것으로 판단된다. 따라서 논토양에 기비로 우분퇴비를 10a에 2ton 비율로 처리하면, Chloride는 약 13.0 kg, Nitrate는 약 19.7kg, Sulfate는 약 19.7kg이 토양내 가해지게 되며, 이들 음이온들은 관수량과 토양의 수리전도도에 따라 지하수로 이동성이 결정될 것이라 추정한다.

예를 들면 본 시험에 사용된 Ap와 B층의 포화 수리전도도는 각각  $3 \times 10^{-4} \text{ cm/sec}$ 와  $1.6 \times 10^{-3} \text{ cm/sec}$ 이고, 이때의 공극률은 약 0.509 이었을 때 60cm 깊이까지의 1 Pore 관수깊이는 약 30.6cm이며, 0.2 Pore 관수깊이는 약 6.12cm가 된다. 따라서 일반 논토양의 관수깊이(H)는 10cm, A층의 깊이는 20cm인 조건에서 공식을 이용하여 이들 음이온의 용탈시간을 알아보면 다음과 같다. 이때 A와 B층의 용적비중은 약  $1.3 \text{ g/cm}^3$  으로 유사하여 두 층간의 용적수분함량( $\theta_v$ )과 Potential( $\psi$ )의 차이는 발생되지 않을 것으로 판단되어 본 계산에서는 무시하였다. 1 PV의 30.6cm의 물이

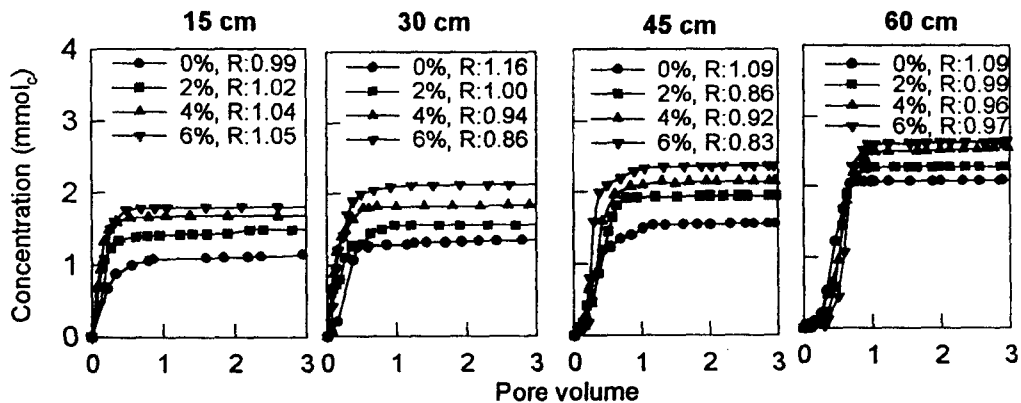


Fig. 5. Cumulative elution patterns of sulfate from unsaturated soil columns of a single- and 3 lengths of a multi-layers treated with the CMC into Ap horizon soils at 4 different ratios.

60cm 깊이의 토양을 통과하는데는 약 18.9 시간이 필요하며, 0.2 PV의 물 6.12cm가 60cm 깊이를 완전히 통과하는데는 약 3.8 시간이 필요할 것으로 계산된다. 따라서 약 4시간후 초기 수용성 Chloride, Nitrate와 Sulfate중 약 90% 이상, 그리고 약 19 시간이후 거의 대부분이 60cm 깊이까지 도달되어 용탈이 완료 될 것으로 예측된다.

### 摘要

수리전도도가 서로 다른 다층구조 토양내에서 유기물 처리량과 토양의 깊이변화가 주요 음이온의 이동특성에 미치는 영향을 조사하기 위해, 우분퇴비가 0, 2, 4, 6%(wt/wt) 비율로 처리된 Ap층 토양의 단일칼럼과 Ap층의 단일칼럼에 길이가 다른 무처리 B층 토양칼럼을 연결하여 조사한 한 음이온의 용출특성을 조사하였다.

용출실험 결과 비특이적 흡착특성을 가지는 수용성  $Cl^-$ ,  $NO_3^-$ 의 거의 대부분이 0.2 PV 내에 90% 이상, 1 PV안에 대부분의 용출이 완료되었다. 부분적 특이흡착반응을 하는  $SO_4^{2-}$ 는 유기물량과 B층 토양의 깊이가 깊어질수록 용출지연과 약간의 회수율 감소가 발생하였으나 토양교질과 특이흡착반응이 매우 강한 Phosphate는 유기물을 6%까지 과량 처리시에도 용출이 발생되지 않았다.

그러므로 토양에 가해지는 각각의 음이온과 토양과의 반응성 및 이들 이온이 이동되는 거리가 음이온의 토양내 거동에 영향을 주는 요인으로 예측된다.

### 감사의 글

본 연구에 도움을 주신 예산 시설재배지 현척규 농민후계자에게 함께 감사드립니다. 본 연구는 한국학술진흥재단 신진교수과제(1996) 지원금에 의해 수행되었습니다.

### 参 考 文 献

- Amarasiri, P.A., and S.R. Olsen. 1973. Liming as related to solubility of P and plant growth in an acid tropical soil. *Soil Sci. Soc. Am. Pro.* 37:716-720.
- Bohn, Hinrich, Brian McNeal, and George O'Connor. 1979. *Soil Chemistry*. A Wiley-Interscience Publication. pp 172-181.
- Chang, M.L., and G.W. Thomas. 1983. A suggested mechanism of sulfate adsorption by soil. *Soil Sci. Soc. Proc.* 27:382-385.
- Higston, F.J., R.J. Atkinson, A.M. Posner, and J.P. Quirk. 1967. Specific adsorption of anions. *Nature*. 215:1459-1461.
- Higston, F.J., R.J. Atkinson, A.M. Posner, and J.P. Quirk. 1968. Specific adsorption of anions on geothite. *Trans. 9th. Int. Congr. Soil Sci.* 1: 669-678
- Hillel, Daniel. 1982. *Introduction to Soil Physics*. Academic Press. pp 92-100.
- Miller, R.W., R.L. Donahu, and J.U. Miller. 1990. *Soils. An introduction to soils and plant growth*. Six ed.. Prentice-Hall International, Inc.. pp 270-278.
- Muljadi, D., P.M. Posner, and J.P. Quirk. 1966. The mechanism of phosphate adsorption by kaolinite, gibbsite and pseudoboehmite. I. The isotherms and the effect of pH on adsorption. *J. Soil Sci.* 17:212-247.
- Sanchez, P.A., and G. Uehara. 1980. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In *The Role of Phosphorus in Agriculture* (eds F.E. Khasawner, E.C. Sample, and E.J. Kamprath). Madison. American Society of



- Agronomy.
- Tisdale, S.L., W.L. Nelson, and J.D. Beaton. 1985. Soil fertility and fertilizers. Forth ed.. Macmillian Publishing Company. New York. pp 394-396.
- しまだ なお. 昭和58年. 하우스 土壤の 特性と改良. 農村漁村文化協會
- 김필주, 이도경, 정덕영. 1997a. 토양구조변화에 따른 시설재배지 토양내 염류집적. 한국토양비료학회지. 제 30권 3호 226-233.
- 김필주, 이도경, 정덕영. 1997b. 토양의 가비중 변화에 따른 수리전도도 및 이온의 용출특성 변화. 한국토양비료 학회지. 제 30권 3호 234-241.
- 김필주, 장기운, 정덕영. 1997c. 우분퇴비 처리가 다층토양의 수리전도도에 미치는 영향. 한국토양환경학회지. 투고중.
- 농업기술연구소. 1988. 토양화학분석법. 농업기술연구소.