

## Lysimeter를 이용한 시비비료의 화산회토 토양중 이동에 관한 연구

강 봉 균\* · 조 남 기

제주대학교 농과대학

### Moved of Applied Fertilizers through Volcanic Ash Soils in a Lysimeter Experiment

Bong-Kyoong Kang · Nam-Ki Cho

*College of Agri., Cheju National Univ., Cheju, Korea*

### ABSTRACT

This study conducted to investigate the movement of fertilized nutrients in a volcanic ash soil in Jeju using by the pressure-vacuum soil water sampler. The percolated water to measure the ion concentration of leachates was taken from a lysimeter at depths of 20, 40, 60, 80, 100 and 120 cm in the soil in where a corn and potato were cultivated as a preceding and succeeding crop, respectively. Fertilizers of N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O were applied at the rate of 36-30-30 kg 10a<sup>-1</sup> for the corn and 28-22-24 kg 10a<sup>-1</sup> for the potato prior to planting of both crops. The highest concentrations of Cl<sup>-</sup>, NO<sub>3</sub>-N, Ca<sup>2+</sup> and K<sup>+</sup> in percolates were showed at 20cm and 40cm in soil depth at one month after fertilizing, and then gradually moved and reduced into below soil depths. At 5.5 months after fertilization, the concentrations in all soil depths were similar with the value of before fertilization. At depth of 120cm, the concentration of NO<sub>3</sub>-N and the other cations in leachate was highest 1 to 1.5 months after fertilization. pH in percolated water was negatively correlated with NO<sub>3</sub>-N concentration while the concentration of NO<sub>3</sub>-N showed positive correlation between Cl<sup>-</sup>, Ca<sup>2+</sup> and Mg<sup>2+</sup> concentrations. This result indicated that those cations can be leached out by accompanied with NO<sub>3</sub>-N.

**Key words :** pressure-vacuum soil water sampler,  $\text{NO}_3^-$ -N, anion, cation, nutrient leaching, volcanic ash soil

## 요약문

본 시험은 제주지역 화산회토에서 pressure-vacuum soil water sampler를 이용하여 시비 양분의 토양깊이별 이동상태를 조사하기 위하여 실시하였다. lysimeter(single chamber : model SW-071)를 각각 20, 40, 60, 80, 100, 120cm의 깊이에 매설한 후 전작물로는 옥수수, 후작물로는 감자를 재배하면서 강우시 침투수를 채수하여 pH 및 양, 음이온의 농도를 조사하였다. 시비량은 질소-인산-가리를 옥수수는 36-30-30kg씩, 감자는 28-22-24kg 씩 각각 과종전에 사용하였다.

채취한 침투수중  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ 의 평균농도는 시비 1개월 후에 20~40cm 깊이에서 급격하게 높아진 후 농도가 점차 낮아지면서 심토층으로의 하향 이동이 계속되어 5개월 후에는 시험 전 토양과 비슷한 수준이 되었다. 심토층(120cm)에서의  $\text{NO}_3^-$ -N은 시비 1~1.5개월 후 그 농도가 가장 높았고, 다른 양이온도 비슷한 경향을 보였다. 용탈수의 pH와  $\text{NO}_3^-$ -N은 부의 상관을 보였고,  $\text{NO}_3^-$ -N과 양이온간에는 고도의 정의 상관을 보여  $\text{NO}_3^-$ -N이 표토에서 심토층으로 하향이동시  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  등의 양이온도 동반용탈되는 것으로 조사되었다.

**주제어 :** 토양침투수채취기, 질산성질소, 음이온, 양이온, 양분용탈, 화산회토

## 1. 서 론

일반 농가에서는 비료의 과잉 투입이 관행화 되어 있어 밭인 경우 시비한 질소의 10~30%가 작물에 흡수되지 않고 유실 또는 용탈될 뿐만 아니라, 시설재배, 전작물, 사료작물 및 채소 등에 과다사용한 질소 비료는  $\text{NO}_3^-$ 로 인한 환경, 식수오염 뿐만 아니라 농산물의 가식부위내  $\text{NO}_3^-$  과다집적의 우려마저 있는 실정이다. 포장조건에서의 양이온 이동은 lysimeter를 이용하여 용탈량을 조사하거나<sup>5,12,19</sup>, 시용한 비료중 양이온의 토층내 분포를 조사, 연구하는 것<sup>1,11,18</sup>이 주가되고 있다. 우리 나라에서도 최근 질산태질소의 토양 중의 행동<sup>9</sup>, 지하수로의 유입에 관한 연구가 활발하게 이뤄지고 있다. 토양으로 유입된 유기태 질소가 무기화 작용을 받아 생성된  $\text{NO}_3^-$ -N은 토양중에서 거의  $\text{Cl}^-$ 과 유사한 속도로 빠르게 하향이동하여 지하수를 오염시킬 수 있다. 토양내  $\text{NO}_3^-$ -N의 하향이동량은 기상 조건에 따라 크게 영향을 받는데, 강수량 또는 관개량이 많을수록 토양 하층부의 농도는 현저히 높아진다<sup>3</sup>. 초지에 액상분뇨를 관개하고 토양깊이 50~100cm에

서 침투수를 채취하여 용탈되는 양이온의 농도를 조사한 바  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ 의 상당량이 용탈된다는 연구결과<sup>16</sup> 및 가축분뇨중의 양이온 용탈조사에서  $\text{K}^+$ 와  $\text{Na}^+$ 은 용해도가 크기 때문에 토양에서 이동성이 크고 대신  $\text{Ca}^{2+}$ 와  $\text{Mg}^{2+}$  또는 전이원소같은 다가 양이온들은 이동성이 적다는 연구결과가<sup>2</sup> 보고되었다. 양이온 용탈시험에서 시험초기보다 용탈후 심토층에서  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ 의 농도가 높아서 축적된다는 연구결과<sup>15</sup>도 보고되었다.

따라서 본 연구에서는 지역에 따라서는 투수속도가 빠르고 오염물질의 흡착능력이 매우 낮아 오염물질이 유입될 때 지하수 오염의 위험성이 매우 높은 제주도 화산회토 밭토양에 lysimeter를 설치하여 토양깊이 20~120cm 까지의 시비 양분중의 질산성질소 및 양이온의 이동, 지하수로의 용탈가능성 등을 추정하여 농업으로부터 발생하는 환경저해요인을 최소한으로 줄이고 환경보존형 농업 실천의 기초자료를 얻기 위하여 수행하였다.

**Table 1.** Chemical properties of the soil before experiment.

pH (1:5H <sub>2</sub> O)	T-N (%)	Avai. P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (ppm)	OM (%)	Exch. cation(me/100g)				CEC (me/100g)	Particle size distibution(%)			Texture
				Ca	Na	K	Mg		Sand	Silt	Clay	
6.68	0.288	230	4.80	2.34	0.14	1.10	0.32	12.92	7.9	18.3	73.8	SILT

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 시험용 풋트

화학비료 시비후 토양 깊이에 따른 토양중 무기성분의 변화정도를 조사하기 위하여 설치된 지 10여년이 지난 무저 콘크리트 원형 풋트(직경 1m, 상부면적 0.79m<sup>2</sup>)에서 수행하였으며, 본 시험에 사용된 토양은 아라통으로 암갈색 화산회토였으며, 조성은 표 1과 같다. 풋트의 윗부분은 상부 10cm의 공간을 두어 비가 오더라도 빗물이 풋트외부로 유출되는 것을 방지하였다.

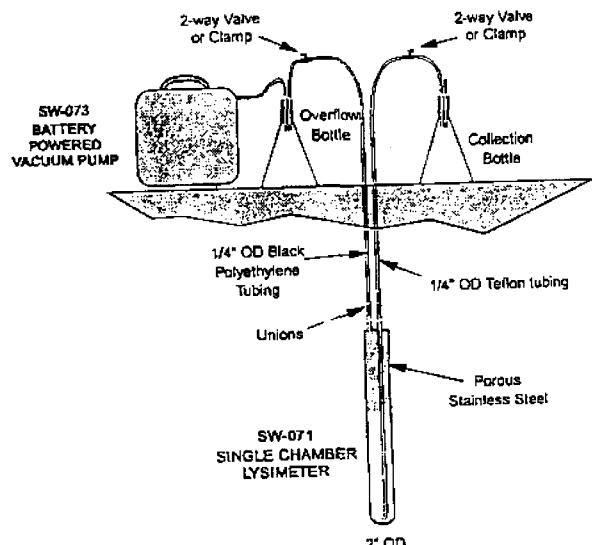
### 2.2 침투수 채수용 lysimeter의 설치

토양 깊이에 따른 토양내 NO<sub>3</sub>-N 및 양이온의 농도

변화를 조사하기 위해 침투수 채취용 pressure-vacuum soil water sampler (Soilmoisture 사, U.S.A)를 이용하였다. 이 침투수 채취용 lysimeter는 single chamber (Model SW-071) 및 battery powered vacuum pump(SW-073)로 구성되어 있으며, 매설방법은 시험용 풋트를 깊이별로 각각 20, 40, 60, 80, 100, 120cm로 향을 파낸 후 처리깊이에 토양중의 수분을 흡수하는 porous stainless steel 부위가 각각의 깊이에 매설이 되게 그림 1과 같이 설치하였다. 침투수 채수방법은 수집병과 연결하는 fulid return tube 밸브는 잠그고, vacuum pump와 연결된 air pressure tube 밸브는 열어 토양수분 정도에 따라 30분~24시간 동안 pumping한 후 수분장력으로 침투수가 porous stainless steel를 통하여 lysimeter tube내에 모이게 한 후 lysimeter내의 침투수를 채수하였다.

### 2.3 처리내용 및 방법

본 시험의 공시작물은 전작물로 제주재래종 옥수수 (*Zea mays L.*), 후작물로는 대지(*Dejima*) 감자 (*Solanum tuberosum L.*)를 공시하였다. 1996년 5월 6일에 각각의 깊이로 Lysimeter를 매설한 후 5월 22일에 전작물재배를 위하여 질소는 요소를 성분량 기준으로 표준시비량의 2배수준인 36kg/10a(기비 50%, 추비 50% - 이식 55일 후)를 처리하였고, 인산, 가리는 용성인비 및 염화가리를 성분량 기준으로 각각 30kg/10a를 전량 기비후 각 시험용 풋트마다 육묘한 옥수수 묘종을 6주씩 이식하여 재배후 8월 20일에 수확하였다. 수확후 후작물재배를 위해 질소는 요소를 성분량기준으로 감자 표준시비량의 2배수준인 28kg/10a를, 인산, 가리는 용성인비 및 염화가리를



**Fig. 1.** Pressure - vacuum soil water sampler for percolation water sampling

성분량 기준으로 각각 22, 24kg/10a를 전량 기비한 후 8월 22일에 감자를 풋트당 6주를 파종하여 재배후 11월 15일에 수확하였다.

침투수중의 음이온과 양이온의 농도를 조사하기 위한 시료의 채취는 일정량 이상의 강우시 각각의 깊이에 매설한 lysimeter를 통해 침투수를 100ml의 플라스틱 병에 채수하여 이온변화를 최대한 줄이기 위해 채수 즉시 냉장 보관후 실험실로 운반 분석하였다. 분석방법은 수소이온 농도는 pH meter(Orion 520A, USA)로,  $\text{NO}_3^-$ -N,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ 의 음이온은 곧바로 3°C 내외의 냉장고에 보관후 수용성 filter (0.45μm)를 이용, 정제하여 ion chromatography (DX-100, Dionex 사, USA)를 이용하여 flow rate = 112로 하여 측정하였으며,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ 의 양이온은 원자흡광광도계 (atomic absorption spectrophotometer; model SP 9-800, Pye-unicam 사, England)를 이용하여 이온별로 각각 766.5nm, 422.7nm, 285.2nm, 589.0nm 파장 부근에서 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

시험용 풋트에 20~120cm까지 각각 20cm 간격으로 lysimeter를 매설한 후 질소공급원인 요소를 표준량의 2배로 처리한 토양에서 강우시 vacuum pump를 이용하여 침투수를 채취하여 pH, 양, 음이온의 농도를 조사한 결과는 그림 2 및 3에서 보는 바와 같다.

#### 3.1 pH 및 $\text{Cl}^-$ 의 농도 변화

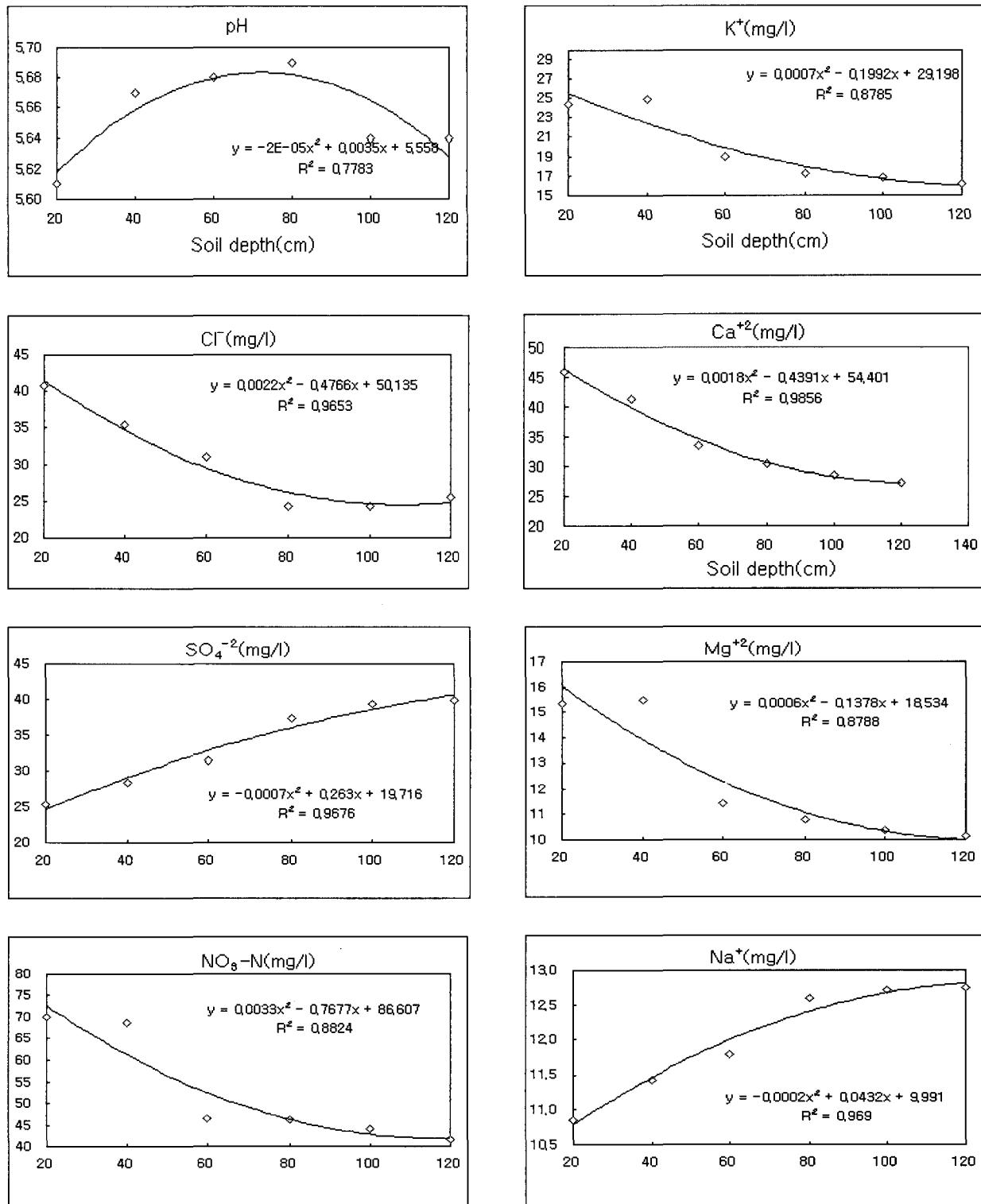
5월 20일부터 11월 2일까지 5회 채수한 침투수의 평균 pH는 40~80cm 깊이에서 높아지는 2차곡선적인 경향을 보였다. 시기별로는 시험 시작 1개월 이후인 6월 20일 침투수부터 pH가 시비전 토양보다 낮아지기 시작하여 1.5개월 후에는 현저하게 낮아지는 경향이었다. 이는 요소를 밭토양에 시비시 질산화작용이 진척되면서  $\text{NO}_3^-$ -N 발생량이 증가됨에 따라 토양 pH가 낮아져  $\text{NO}_3^-$ -N이 무기태질소의 주종이 될 때는 시험전 토양보다 더 낮아졌다는 보고(8와 같은 현상이

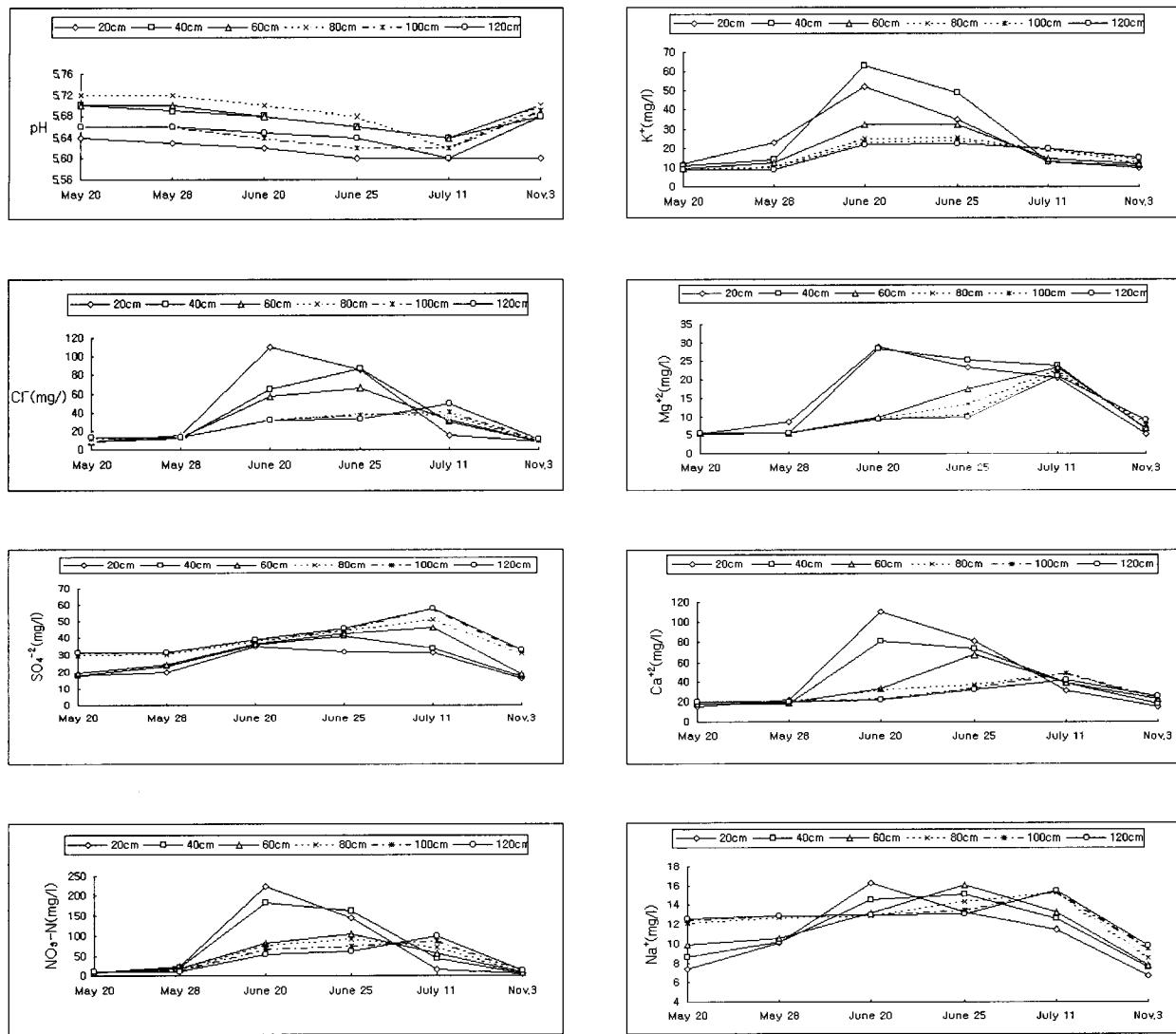
다. 하지만 시험시작 5개월 후에는 40cm이하의 심토층에서 pH가 다소 높아지는 경향을 보였는데, 이는  $\text{NO}_3^-$ -N은 용탈속도가 빨라 심토하층으로 용탈되고 상대적으로 이동속도가 느린 치환성칼슘에 의해 다소 상승한 것으로 생각된다.

$\text{Cl}^-$ 의 평균농도는 6월 20일 침투수중 20cm 깊이에서 높게 나타난 후 토양 깊이가 깊어질수록 감소하는 추세를 보였다. 시기별로는 6월 20일부터 6월 25일 침투수중 20~60cm의 깊이에서 농도가 급격히 높아진 후 옥수수 수확 후인 11월까지 계속적으로 낮아지는 양상을 보였다. 1개월 후인 6월 20일에는 20cm 깊이에서 가장 높은 109mg/l의 농도를 보였고, 1.5개월 후인 7월 11일에는 80~120cm의 심토 하층부 농도가 20~60cm보다 높게 나타났으며, 5개월 후인 11월 11일에는 120cm의 심토에서 가장 낮아져  $\text{Cl}^-$ 의 심토층으로 이동이 심하게 이뤄졌음을 보여주었다. 85cm 깊이의 microplot를 이용한 관수시험에서 시험 시작 5.5개월 이후에는 풋트내  $\text{Cl}^-$ 의 거의 존재하지 않았다는 보고<sup>20</sup>로 볼 때  $\text{Cl}^-$ 의 하향이동은 매우 빠르게 일어나 지하수로의 침투 가능성을 보여주고 있다.

#### 3.2 $\text{NO}_3^-$ -N 및 $\text{SO}_4^{2-}$ 의 농도 변화

침투수중  $\text{NO}_3^-$ -N의 평균농도는 20~40cm 깊이에서 69~70mg/l로 높게 나타난 후 하층부로 내려갈수록 농도가 낮아지는 경향을 보였다( $Y=0.0033X^2-0.7677X+86.607$ ). 시기별로는 시험 시작 1개월 후(6월 20일)부터 20~40cm 깊이에서 농도가 급격하게 증가된 후 하향이동이 계속되어 1.5개월 후(7월 11일)에는 100~120cm에서 약간 높게 나타났다가 5개월 후에는 모든 깊이에서 시비전 토양과 비슷한 농도로 낮아졌다. 본 시험에서 시비 1주일 후인 5월 28일의 농도에 비해 1개월 후인 6월 20일의  $\text{NO}_3^-$ -N의 농도가 급격하게 높아진 것은 그 사이에 침투수가 없어 질산화 작용이 급격하게 진행된 시점을 파악할 수는 없었으나, pH가 낮고 토층이 깊어질수록 질산화 작용이 느리게 일어났다는 보고<sup>4,13,17</sup> 및 요소를 10cm 토층에 사용했을 때 1.5개월이 지나서야  $\text{NO}_3^-$ -N이 처음으로 검출되었다는 보고<sup>20</sup> 등을 종합해 볼 때 요소를 10cm

**Fig. 2. pH and ion concentration of leachates taken at soil depths of 20 to 120cm**



**Fig. 3. pH and ion concentration of leachates taken from the lysimeter at soil depths of 20 to 120cm during the experimental**

내외의 깊이에 시비한 본 시험에서도 질산화 작용이 느리게 일어난 것으로 추정되어 요소의 토양시비시 표 층시비보다도 심층시비가 NO<sub>3</sub>-N 용탈방지에 유리할 것으로 생각된다. SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>의 깊이별 평균농도 변화는 토양 깊이가 깊어질수록 높아져  $Y = -0.0007X^2 + 0.263X + 19.716$ 의 2차회귀식을 보였다. 시기별로는 60cm이상의 깊이에서 1개월후부터 1.5개월까지 지속적으로 농도가 증가하여 비료에 의해 공급된 이온들과

는 다른 변화 양상을 보였다.

### 3.3 K<sup>+</sup> 및 Ca<sup>2+</sup>의 농도 변화

염화가리에 의해 공급된 K<sup>+</sup>의 토양 깊이별 평균농도는 40cm 깊이에서 27mg/l로 높게 나타났으며 토양 깊이가 깊을수록 점차 농도가 낮아지는 형태를 보였다. 시기별 변화는 시비 1개월 후부터 20~40cm 깊이

에서 농도가 증가하기 시작하여 1.5개월 후까지 비슷한 양상을 보였다. 5개월 후의 침투수중에서는 80cm 이하의 깊이에서 K<sup>+</sup>의 농도가 20~60cm 깊이에 비해 약간 증가하는 경향을 보였다. 이처럼 1.5개월 이후에는 대부분의 토층에서 K<sup>+</sup>의 농도가 비슷한 수준이고, 그 후 전 토층에서 감소되고 있는 것은 K<sup>+</sup>의 하향이동이 계속적으로 일어나 심토층으로 용탈되고 식물체 생육이 왕성해지면서 식물체에 의한 K<sup>+</sup>의 흡수량이 현저하게 증가되었기 때문으로 생각된다. 토양중 K<sup>+</sup>의 순실은 주로 용탈에 의해 일어나며<sup>10</sup>, CEC가 낮은 토양에서 K<sup>+</sup>의 용탈이 쉽게 일어나는데, 특히 산성토양에서는 흡착된 Al이 K<sup>+</sup>에 의해 쉽게 치환이 되지 않아 용탈이 더욱 쉽게 일어난다<sup>21</sup>.

Ca<sup>2+</sup>의 평균농도는 20cm 깊이에서 45mg/l로 높게 나타났으며, 심토층으로 내려갈수록 계속적으로 낮아졌다. 시험 시작 1개월 후의 20cm 깊이에서 높은 농도를 보인 후 점차 하향이동이 시작되어 1.5개월 이후에는 80cm이상 깊이의 Ca<sup>2+</sup> 농도가 높아지는 것으로 나타났으며 5개월 후의 깊이별 농도는 시험 시작 전보다 약간 높아지는 경향을 보였다. 이는 본 시험에서 비료로 사용한 용성인비에 함유된 CaO의 하향이동이 비교적 많이 일어난 결과로 NO<sub>3</sub>-N이 용탈될 때 Ca<sup>2+</sup>이 동반용탈된<sup>6</sup> 것으로 생각된다.

### 3.4 Mg<sup>2+</sup> 및 Na<sup>+</sup>의 농도 변화

Mg<sup>2+</sup>는 시비된 용성인비에 의해 일부 공급되어졌으며 그 농도는 20~40cm 깊이에서 높게 나타났고, 심토층으로 이동될수록 낮아지는 추세를 나타내었다. 시기별로는 6월 20일에는 20~40cm 깊이에서 28mg/l 내외의 농도로 증가하였으나, 1.5개월 후인 7월 11일에는 20~120cm 깊이에서 22mg/l 내외로 하층부로의 이동은 심하게 이뤄지지 않은 것으로 나타났으며, 5개월 후인 11월 2일에도 80cm이상 심토층에서 약간 농도가 증가하는 경향을 보였다. 이는 시용량이 미미하여 토양심층부로의 용탈보다는 식물체에 의한 흡수량이 많아졌기 때문인 것으로 생각된다.

시비에 의한 공급량이 없었던 Na<sup>+</sup>의 토양 깊이별 평균농도는 심토층으로 갈수록 농도가 높아지는 경향을

나타내었다. 시기별로는 다른 이온에 비하여 농도변화가 적었으며 강우가 많았던 6월 20일부터 6월 25일 사이에 농도가 일시 증가하는 현상을 보여 강우 및 질소질 비료의 무기화작용으로 생성된 NO<sub>3</sub>-N과 동반용탈에 의한 것으로 보인다.

### 3.5 깊이별 침투수중의 NO<sub>3</sub>-N과 양, 음이온과의 상관

깊이별 침투수중의 NO<sub>3</sub>-N과 양, 음이온과의 상관은 표 2에서 보는 바와 같다.

pH와의 관계는 20~100cm 까지의 모든 처리구에서 부의 상관경향을 보였으며 특히 100cm 이상의 심토에서 높은 부의 상관성을 보여 질소시용으로 인한 무기화된 NH<sub>4</sub>-N의 질산화가 진행됨에 따라 pH가 낮아진 것으로 보인다. NO<sub>3</sub>-N과 Cl<sup>-</sup>과는 대부분의 깊이에서 고도의 정의 상관성을 보여 비반응성인 Cl<sup>-</sup>은 NO<sub>3</sub>-N과 이동성이 비슷<sup>7</sup>하기 때문에 동일매질하에서 지하층으로 동반이동이 이뤄지는 것으로 보였다. NO<sub>3</sub>-N과 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>와도 40cm이하의 깊이에서 상관정도는 유사한 경향을 보여 Cl<sup>-</sup>과 마찬가지로 NO<sub>3</sub>-N과 동반 이동됨을 알 수 있다.

NO<sub>3</sub>-N과 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup> 농도간의 상관관계는 20~120cm의 깊이별로 다소 차이는 있지만 대부분의 깊이에서 정의 상관관계를 보이고 있어 질산태질소가 심토층으로 하향이동시 이들 양이온과 동반용탈되어 축적되었기 때문에 나타나는 결과로 생각된다. 깊이별 NO<sub>3</sub>-N과 양이온들과의 상관계수는 20cm 깊이에서는 Ca<sup>2+</sup>>K<sup>+</sup>>Na<sup>+</sup>>Mg<sup>2+</sup>가 0.991\*\*, 0.978\*\*, 0.904\*, 0.850\*이였고, 10cm에서는 Mg<sup>2+</sup>>Ca<sup>2+</sup>>K<sup>+</sup>>Na<sup>+</sup>인 0.899\*, 0.877\*, 0.791, 0.763으로 조사되었다. 이는 용탈시험에서 NO<sub>3</sub>-N과 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>의 농도 간에는 NO<sub>3</sub>-N 농도가 증가할수록 양이온의 농도가 증가하는 정의 상관관계를 보여 NO<sub>3</sub>-N이 표토에서 심토층으로 하향이동시 이들 양이온과 동반용탈되어 축적되었기 때문에 나타난 결과라는 보고<sup>20</sup>, 양이온 용탈시험에서 시험 초기보다 용탈후에 심토층에서 Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>이 축적되며 Cl<sup>-</sup>도 심토에서 농도가 증가하였다는 보고<sup>15</sup> 등과 유사한 결과를 보였다.

**Table 2. Correlation coefficients among pH and ion concentration of leachate taken from the lysimeters at soil depths of 20 to 120cm.**

Sampling depth(cm)	Item	pH	Cl-	NO <sub>3</sub> -N	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>
20	Cl <sup>-</sup>	-0.161						
	NO <sub>3</sub> -N	-0.102	0.995**					
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	-0.386	0.461	0.777				
	Na <sup>+</sup>	-0.168	0.900*	0.904*	0.929*			
	K <sup>+</sup>	0.021	0.962**	0.978**	0.727	0.912*		
	Mg <sup>+2</sup>	-0.362	0.862*	0.850*	0.990**	0.961**	0.807*	
	Ca <sup>+2</sup>	-0.186	0.992**	0.991**	0.850*	0.935**	0.957**	0.909*
40	Cl <sup>-</sup>	-0.438						
	NO <sub>3</sub> -N	-0.288	0.957**					
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	-0.674	0.924**	0.863*				
	Na <sup>+</sup>	-0.558	0.927**	0.904*	0.986**			
	K <sup>+</sup>	-0.139	0.900*	0.985**	0.769	0.830*		
	Mg <sup>+2</sup>	-0.681	0.863*	0.862*	0.936**	0.928**	0.787	
	Ca <sup>+2</sup>	-0.401	0.960**	0.990**	0.900*	0.926**	0.958**	0.922**
60	Cl <sup>-</sup>	-0.615						
	NO <sub>3</sub> -N	-0.712	0.990**					
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	-0.953**	0.794	0.866*				
	Na <sup>+</sup>	-0.763	0.911*	0.946**	0.892*			
	K <sup>+</sup>	-0.417	0.969**	0.927**	0.637	0.797		
	Mg <sup>+2</sup>	-0.992**	0.563	0.668	0.921**	0.718	0.359	
	Ca <sup>+2</sup>	-0.729**	0.855*	0.897*	0.797	0.881*	0.755	0.738
80	Cl <sup>-</sup>	-0.719						
	NO <sub>3</sub> -N	-0.559	0.977**					
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	-0.930**	0.921**	0.839*				
	Na <sup>+</sup>	-0.595	0.813*	0.708	0.768			
	K <sup>+</sup>	-0.459	0.890*	0.965**	0.709	0.511		
	Mg <sup>+2</sup>	-0.993**	0.792	0.680	0.966**	0.667	0.538	
	Ca <sup>+2</sup>	-0.939**	0.911*	0.835*	0.994**	0.723	0.721	0.970**
100	Cl <sup>-</sup>	-0.934**						
	NO <sub>3</sub> -N	-0.890*	0.994**					
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	-0.807	0.900*	0.905*				
	Na <sup>+</sup>	-0.910*	0.787	0.735	0.773			
	K <sup>+</sup>	-0.676	0.855*	0.883*	0.652	0.371		
	Mg <sup>+2</sup>	-0.625	0.764	0.788	0.962**	0.654	0.518	
	Ca <sup>+2</sup>	-0.688	0.789	0.796	0.969**	0.665	0.545	0.965**
120	Cl <sup>-</sup>	-0.937**						
	NO <sub>3</sub> -N	-0.920**	0.996**					
	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	-0.938**	0.969**	0.980**				
	Na <sup>+</sup>	-0.933**	0.812	0.763	0.759			
	K <sup>+</sup>	-0.502	0.766	0.791	0.704	0.304		
	Mg <sup>+2</sup>	-0.860*	0.874*	0.899*	0.938**	0.644	0.573	
	Ca <sup>+2</sup>	-0.843*	0.843*	0.877*	0.950**	0.605	0.588	0.932**

\* , \*\* : Significant at 5% and 1%, respectively.

토양에서  $\text{NO}_3^-$ -N의 이동이 대류수송(convective transport)에 따른다면 심토에서  $\text{NO}_3^-$ -N과 양이온간에 정의 상관관계가 있었으므로 용탈수에 의하여 이동되는  $\text{NO}_3^-$ -N은 토양 양이온들과 쌍을 이루어 동반용탈된 것으로 해석할 수 있으며 심토에서  $\text{NO}_3^-$ -N과 양이온 농도가 높은 사실로부터  $\text{NO}_3^-$ -N의 용탈은 표토에서 식물에 유용한 양분의 손실을 유발하며 또한 동반 양이온들이 기간이 경과함에 따라 더욱 밑으로 이동될 때 지하수에 염류농도를 증가시키는 결과를 초래할 수 있을 것이다<sup>21)</sup>.

#### 4. 결 론

본 시험은 제주지역 화산회토에서 pressure-vacuum soil water sampler를 이용하여 시비 양분의 토양깊이별 이동상태를 조사하기 위하여 실시하였다. lysimeter(single chamber : model SW-071)를 각각 20, 40, 60, 80, 100, 120cm의 깊이에 매설하여 전작물로는 옥수수, 후작물로는 감자를 재배하면서 강우시 침투수를 채수하여 pH 및 양, 음이온의 농도를 조사하였다. 시비량은 표준시비량의 2배수준으로 질소는 요소를 성분량기준으로 64kg/10a(옥수수 36kg, 감자 28kg)을 사용하고, 인산 및 가리는 용성인비 및 염화가리를 성분량 기준으로 각각 52kg/10a(옥수수 30kg, 감자 22kg), 54kg/10a(옥수수 30kg, 감자 24kg)를 사용하였다.

질소를 표준시비량의 2배로 처리한 시험구에서 lysimeter를 통해 채수한 침출수의 pH 농도 변화는 시험 시작 1개월 이후부터 pH가 시비전 토양보다 낮아지는 경향을 보였다. 깊이별 침출수중  $\text{NO}_3^-$ -N의 평균농도는 20~40cm 깊이에서 높게 나타났으며, 시기별로는 시험시작 1개월 후부터 농도가 급격하게 증가하기 시작하여 5개월 후까지 하향이동이 계속되어 50일 후에는 100~120cm에서  $\text{NO}_3^-$ -N 농도가 높게 나타났다가 5개월 후에는 시비전 토양과 큰 차이가 없었다.  $\text{NO}_3^-$ -N과  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$ 의 농도간에는 깊이별로 다소 차이는 있지만 정의 상관관계를 보이고 있어 용탈수에 의하여 이동되는  $\text{NO}_3^-$ -N은 토양 양이

온들과 쌍을 이루어 동반용탈되는 것으로 해석할 수 있으며, 이는 식물에 유용한 양분의 손실을 유발하고 지하수중의  $\text{NO}_3^-$ -N과 염류의 농도를 증가시키는 요인으로 작용하는 것으로 보인다. 120cm의 심토층에서의  $\text{NO}_3^-$ -N은 시비 1~1.5개월 후 가장 높아졌고, 다른 양이온도 비슷한 경향을 보였다. 본 시험에서 시험 시기가 여름철임에도 불구하고 질산화 작용이 시비후 1개월 후에야 왕성하게 일어난 것으로 보여 이는 질소시비시 10cm내외의 깊이에 시비함으로써 질산화가 늦어진 것으로 추정되는 바 토양시비시 표층시비보다도 심층시비가  $\text{NO}_3^-$ -N 용탈방지에 유리할 것으로 보인다.

#### 참 고 문 헌

1. Amiel, A. J., M. Nameri, and M. Magaritz. "Influence of intensive cultivation and irrigation on exchangeable cations and soil properties : A case study in Jordan Valley, Israel", Soil Sci., 142, pp223~228(1986).
2. Amoozegar-Fard, A., W. H. Fuller, and A. W. Warrick. "Migration of salt from feedlot waste affected by moisture regime and aggregate size", J. Environ. Qual., 4, pp468~472(1975).
3. Bergstrom, L. 1987. "Nitrate leaching and drainage from annual and perennial crops in tile drained plots and lysimeters", J. Environ. Qual., 16, pp11~18(1987).
4. Hadas, A., S. Feigenbaum, A. Feigin, and R. Protnoy. "Nitrification rates in profiles of differently managed soil types", Soil Sci. Soc. Am. J., 50, pp633-639(1986).
5. Hakamata, T. "Multivariate analysis of anion-cation relationships in soil solution in a lysimeter experiment", Soil Sci. and Plant Nutr., 29, pp429~438(1983).
6. Hoyt, P. B., and A. W. Henning. "Soil acidification by fertilizers and longevity of lime applications in the Peace-River region" Can. J. Soil Sci., 62, pp155~163(1982).
7. Hyun, I. H., Y. K. Oh, B. M. Kim, I. S. Cho, S. T. Song, S. S. Oh, M. K. Kim and S. B. Moon. "Contamination

- sources of groundwater with nitrate-nitrogen. The report of public health & environment institute of Cheju-do", 7, pp119-140(1996.).
8. Jolley, V. D., and W. H. Pierre. "Soil acidity from long – term use of nitrogen fertilizer and its relationship to recovery of the nitrogen", Soil Sci. Soc. Am. J., 41, pp368-373(1977).
  9. Krupp, H. K., J. W. Biggar., and D. R. Nielsen. "Relative flow rates of salt and water in soils", Soil Sci. Soc. Am. Proc, 36, pp412~417(1972).
  10. Mengel, K. "Dynamics and availability of major nutrients in soils", Adv. Soil Sci., 2, pp65~131(1985).
  11. Misra, U. K., W. J. Upchurch, and C. E. Marshall. " Lysimetric and chemical investigations of pedological changes : prat 4. Mineral equilibria in relation to potassium and magnesium-enriched environment in the profile", Soil Sci., 122, pp25-35(1976).
  12. Neilson, G. H., and D. S. Stevenson. "Leaching of soil calcium, magnesium, and potassium in irrigated orchard lysimeters", Soil Sci. Soc. Am. J., 47, pp692~696(1983).
  13. Nyborg, M., and P. B. Hoyt. "Effects of soil acidity and liming on mineralization of soil nitrogen", Can. J. Soil Sci., 58, pp331~338(1978).
  14. Pavan, M. A., F. T. Bingham, and P. F. Pratt. "Redistribution of exchangeable calcium, magnesium and aluminum following lime or gypsum applications to a Brazilian Oxisol", Soil Sci. Soc. Am. J, 48, pp33-38(1984).
  15. Pleysier, J. L., and A. S. R. Juo. "Leaching of fertilizer ions in a Ultisol from the high rainfall tropics : Leaching through undisturbed soil columns", Soil Sci. Soc. Am. J., 45, pp754~760(1981).
  16. Quin, B. F., and L. J. Forsythe. "Surface irrigation of pasture with treated sewage effluents. Ⅱ . Drainage losses of nitrate and other nutrients", J. Agric. Res., 21, pp427-434(1978).
  17. Rosenberg, R. J., N. W. Christensen, and T. L. Jackson. "Chloride, soil solution osmotic potential, and soil pH effects on nitrification", Soil Sci. Soc. Am. J., 50, pp941~945(1986).
  18. Sumner, M. E., H. Shahandeh, J. Bouton, and J. Hammel. "Amelioration of an acid soil profile through deep liming and surface application of gypsum", Soil Sci. Soc. Am. J., 50, pp1254~1258( 1986).
  19. Terman, G. L. "Quantitative relationships among nutrients leached from soils", Soil Sci. Soc. Am. J., 411, pp935~940(1977).
  20. 柳寬植, 灌水에 의한施肥養分의 土壤 중 移動에 관한 研究, 서울大學校 博士學位論文(1988).
  21. 尹淳康, 尿素와 家畜糞에서 由來한 硝酸態窒素 및 同伴 陽이온의 土壤中 行動, 서울대 대학원 박사학위논문(1994).