

## 시설재배지 토양의 유거수에 의한 염류의 이동

강보구\* · 김현주\* · 이경자\* · 김재정<sup>1)</sup> · 홍순달<sup>1)</sup>

\*충북농업기술원, <sup>1)</sup>충북대학교 농과대학 농화학과

(2001년 1월 13일 접수, 2001년 6월 11일 수리)

### Salt Movement of Soils by Runoff in Green House Area

Kang, Bo-Koo\* · Kim, Hyun-Ju\* · Lee, Kyung-Ja\* · Kim, Jai-Joung<sup>1)</sup> · Hong, Soon-Dal<sup>1)</sup> (\*Chungbuk Agricultural Research and Extension Services, 383 Ochang-Myeon, Cheongwon-County Chungbuk, <sup>1)</sup>Dept. of Agricultural Chemistry, College of Agriculture, Chungbuk National University)

**ABSTRACT** : Salt accumulation and movement by runoff were studied in runoff resevier lysimeter constructed in a green house located in the area of Cheongju, Chungbuk province. Average runoff ratio of rainfall within period of this experiment was 58%. The average content of cations lost from field soil by runoff was in the order of  $Ca^{2+}$ (27.12 mg/L) >  $K^+$ (9.18 mg/L) >  $Mg^{2+}$ (2.53 mg/L) >  $Na^+$ (1.89 mg/L) and in the care anions  $SO_4^{2-}$ (63.38 mg/L) >  $NO_3^-$ (25.40 mg/L) >  $Cl^-$ (4.19 mg/L) >  $PO_4^{3-}$ (3.18 mg/L). Amounts of salt movement by runoff  $SO_4^{2-}$ (140.2 kg/ha),  $Ca^{2+}$ (59.9 kg/ha),  $NO_3^-$ (56.1 kg/ha),  $K^+$ (20.3 kg/ha),  $Cl^-$ (9.3 kg/ha),  $PO_4^{3-}$ (7.0 kg/ha),  $Mg^{2+}$ (5.6 kg/ha) and  $Na^+$ (4.2 kg/ha). The loss amount of  $PO_4^{3-}$  was the lowest among the anions investigated in this experiment.  $P_2O_5$  was accumulated on the soil surface due to strong affinity for the sorption site on the soil particle surface.

**Keyword** : salt, green house, runoff, cation, anion

## 서 론

시설재배의 시비 현황을 보면 작물에 따라 다소 차이가 있지만, 노지재배보다 질소는 21%, 인산은 52%, 칼리는 34%까지 과잉 시비하고 있는 경향이며, 화학비료와 같이 사용하고 있는 퇴비의 경우 40~80 ton/ha의 많은 양이 투입되고 있는 것으로 조사되었다<sup>9)</sup>. 투입된 비료중 작물에 흡수 이용되는 양은 대체로 질소 30%, 인산 3~5%, 칼리 40~50%로 보고되어 있다<sup>7)</sup>.

토양중 질소 이동은 주로 양분의 손실차원에서 시비질소 행방을 추적하는 연구가 수행되어왔다. 강<sup>4)</sup>은 시용한 질소중 작물의 이용율은 44~51%이고 토양에의 잔존율은 32~38%이었으며 11~24%는 탈질이나 용탈되는 것으로 보고하였고, Kowalenko<sup>5)</sup>는 사양토에서 시용한 질소 중 식물에 흡수 이용되지 않은 질소의 27%가 탈질된다고 하였다. 식물의 영양원으로 토양에 공급되는 비료성분은 작물에 흡수 이용되는 한편 작물에 흡수되지 못하고 남은 성분들은 빗물이나 관개수에 의해서 유실되거나 또는 점토 광물에 흡착, 고정되어 토양에 축적된다.

Sharma 등<sup>12)</sup>은 인산이 일반적으로 토양중에서 거의 이동하지 않으나 인산비료를 사용하여 토양용액중 인산농도가 토양의 인산

흡수태 보다 높으면 토양수의 이동에 따라 인산이 계속 이동되지만, 인산 흡착이 많이 일어나 토양용액중 인산농도가 낮아지면 주로 확산에 의하여 이동하기 때문에 이동속도가 급격하게 줄어 든다고 하였다.

양이온인 Ca, Mg, K 등의 이동은 토양용액과 토양입자 사이의 상호작용으로 일어나는 흡착·치환현상 때문에 경쟁하는 양이온의 종류와 수에 따라서 매우 복잡적으로 일어난다<sup>11)</sup>. Quin 등<sup>10)</sup>은 양이온중 K와 Na는 용해도가 크기 때문에 토양에서 이동성이 큰 반면 Ca와 Mg 또는 전이원소 같은 양이온들은 이동성이 적음을 보고하였다.

우리 나라는 배수가 잘되는 하천주변과 관개가 용이한 지역을 중심으로 시설재배가 발달되어 있기 때문에 관수를 통해 년중 다비 상태로 재배되고 있는 시설하우스에서는 계절에 관계없이 용탈이 일어날 수 있다는 것을 시사하고 있다. 지역에 따라 차이는 있지만 염류가 집적되어 연작장해가 발생되면 여름철에 시설을 제거하거나 시설을 이동하여 노지상태로 재배하여 염류를 용탈시켜 염류집적을 경감하는 방법을 사용하는 시설재배농가 있다. 따라서 본 시험은 농업환경보전 차원에서 시설재배지의 염류이동을 평가하기 위하여 Lysimeter를 이용하여 유거수에 의한 염류이동을 조사하였다.

### 재료 및 방법

#### 지표 유거수에 의한 염류의 용탈

시설재배지에서 빗물에 의하여 표토에 집적된 염류의 이동양상을 구명하기 위하여 사용된 공시토양의 토성은 미사질양토로 화학성은 표 1과 같으며 염류가 과다 집적된 농가포장에서 유거수를 채취하기 위한 Lysimeter를 그림 1과 같이 설치하였다. 설치방법은 직경 80 cm 원형 PVC 칼럼을 깊이 45 cm로 절단하여 30 cm는 토양에 매립하여 빗물만 유입되도록 하였다. 원통 PVC 지표면 높이의 양측에 직경 8 cm의 구멍을 2개 만들어 강우시 5,024 cm<sup>2</sup> 면적의 유거수가 모두 受器(200 L)에 모이게 하였다. 비가 갠 후 강우량과 유거수량을 측정된 후 분석용 시료로 사용하였다.

#### 토양 분석

충북 청주지역 시설재배농가 포장에서 Lysimeter를 설치하기 전에 토양시료를 채취하여 포장 상태의 토양 10 g에 2 M-KCl 용액 50 mL를 넣고 30분간 진탕한 후 침출액을 Kjeldahl 증류장치를 이용 MgO를 가하여 증류하여 2%의 Boric acid를 受器로 받아 0.05 N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>로 적정하여 NO<sub>3</sub>-N를 측정하였고 다시 Devardas alloy를 넣고 증류하여 2%의 Boric acid를 受器로 받은 용액을 0.05 N-H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>로 적정하여 NH<sub>4</sub>-N를 측정하였다. 나머지 토양은 음지에서 風乾한 다음 2 mm체를 통과시켜 시료를 조제한 다음 기타 성분을 다음과 같은 방법에 의하여 분석하였다.

風乾한 토양을 증류수와 1 : 5로 혼합하여 30분간 진탕한 현탁액을 Ion Analyzer(Orion model EA940)와 Conductance meter(YIS model 32)로 각각 pH와 전기전도도(EC)를 측정하였다. 유효인산은 Lancaster method로, 치환성양이온(K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>)은 5 g의 토양시료에 50 mL의 1 N-NH<sub>4</sub>OAC(pH 7.0)를 가하여 30분 진탕한후, No. 2 여지로 여과시킨 액을 Atomic Absorption Spectrophotometer(Perkin Elmer model 2380)과 Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometer(ICP: Thermo Jarrell Ash model Atomscan 25)를 이용하여 분석하였다.

한편 음이온인 Cl<sup>-</sup>은 건토 5 g에 25 mL의 증류수를 가하여 30분 진탕한 후 여액을 0.01 N-AgNO<sub>3</sub>로 적정하여 측정하였으며, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>-S는 Spectrophotometer(Milton Roy model Spectronic 21D)를 이용하여 BaCl<sub>2</sub> 比濁法으로 정량 분석하였다.

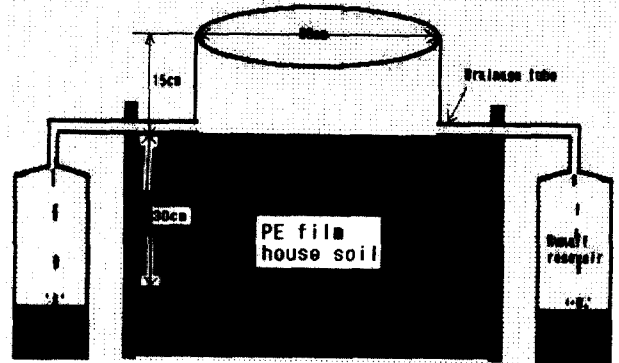


Fig. 1. Schematic diagram of lysimeter for runoff sampling.

토양의 粒徑 분석은 5% Sodium hexametaphosphate를 분산제로 하여 분석하였고, 토성은 USDA 방법에 의하여 분류하였다.

#### 수질 분석

농가에서 여름철에 휴한기를 이용하여 강우가 집중되는 7~8월에 시설을 제거하여 빗물에 의한 염류집적 경감시기를 고려하여 본시험은 8월중에 내린 강우중 유거수 및 빗물을 채취하여 pH와 전기전도도는 토양분석방법과 동일한 방법을 사용하여 측정하였고, 양이온(K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>)과 음이온(NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>)은 각각 ICP와 Ion-chromatography Enclosure(Dionex model LC20)를 이용하여 분석하였다

### 결과 및 고찰

시설재배 농가에서 일반적으로 염류를 제거시키는 방법은 장마철인 7월과 8월 사이의 休閑期에 비닐을 제거하여 빗물에 의해 유거수로 혹은 용탈수로 집적된 염류를 용탈시키고 있다. 따라서 표토에 집적된 염류들이 유거수 및 침투수에 의해 이동됨으로서 수자원 오염 및 자원의 낭비를 초래할수 있다. 강우시 토양에서 유실되는 유거수량은 경사정도나 점토 및 유기물 함량에 의한 보수력과 침투속도에 따라 달라진다. 그러나 우리나라의 시설재배지는 하성충적토의 평탄지에 주로 분포하며 토성은 사양토, 양토 및 미사질양토가 70%이상 차지하고 있기 때문에<sup>3,6)</sup> 강우분포에 따른 유거수량은 지역에 따라 약간의 차이는 있을 것으로 생각된다.

Table 1. Chemical properties of soil filled in runoff lysimeter.

Soil texture	EC dS/m	pH (1:5)	NO <sub>3</sub> -N mg/kg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/kg	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> -S mg/kg	Cl <sup>-</sup> mg/kg	Exchangeable cation cmol <sup>+</sup> /kg			
							K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>
SL	7.28	6.5	605	837	366	596	1.86	16.9	3.43	0.65

Table 2. Amount of runoff by rainfall

Classification	Date				Total
	2, Aug.	13, Aug.	18, Aug.	30, Aug.	
Rainfall(mm)	138	223	74	144	379
Runoff(mm)	78	9	38	96	221
Runoff rate(%) <sup>*</sup>	57	38	52	77	58

$$* \frac{\text{Amount of Runoff}}{\text{Amount of Rainfall}} \times 100$$

시설재배지에 Lysimeter를 설치하고 강우시마다 유거수량을 조사한 결과는 표 2와 같다. 조사 기간 4회에 걸쳐 내린 전체 강우량은 379 mm 이었고, 이중 유거수로 유실된 량은 221 mm 이었다. 유거수율은 강우 강도가 클수록 증가하는 경향으로 강우량과 강우시기에 따라 차이가 있어 38~77%의 범위를 보였으며 평균 유거수율은 58% 이었다.

8월 중 강우분포에 따른 유거수의 화학성분 함량은 표 3에 나타난 바와 같다. 유거수의 pH는 강우시기에 따라 차이를 보였으며, 강우량이 많고 유거수의 양이온 함량들이 비교적 낮은 시기에 감소되는 경향이었고, 제일 먼저 채취한 8월 2일의 유거수에서 6.4로 가장 낮았다. 이는 강우시기와 강우량에 따라 유실되는 염류의 농도에 기인된 것으로 생각된다. 또한 빗물의 평균 pH 5.4에 비하여 유거수의 평균 pH는 6.8로 현저히 높았는데 이는 유거수에 많은 염류성분들이 포함되어 있음을 반영한다. 강우량이 적고 양이온 함량이 높았던 시기에 유거수의 pH는 높은 반면 강우량이 많고 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량 많았던 시기에는 낮은 경향을 보였다.

유거수의 화학성분중 음이온 함량은 처음 강우시에 가장 높았고 강우분포 회수가 누적됨에 따라 감소되는 경향을 보였다. 유거수중 음이온들의 8월중 평균 함량은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(63.38 mg/L) > NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(25.40 mg/L) > Cl<sup>-</sup>(4.19 mg/L) > PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>(3.18 mg/L)의 순이었고, 양이온 평균 함량은 Ca<sup>2+</sup>(27.12 mg/L) > K<sup>+</sup>(9.18 mg/L) > Mg<sup>2+</sup>(2.53 mg/L) > Na<sup>+</sup>(1.89 mg/L)의 순이었다. 유거수에 의해 용탈되는 성분은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 가장 많은 반면 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>는 다른 음이온들에 비하여 가장 적은 함량을 보여 수용성 인산형태로 이동되는 양이 매우 적었다.

농가에서는 염류집적에 의한 염류장해의 경감대책으로 여름철에 시설을 제거하여 강우에 의한 염류를 용탈시키는 방법을 사용하고 있다. 이런 방법을 사용할 경우 집적된 염류들의 이동양상을 추정해보기 위하여 본 시험 수행을 위해 농가포장에 설치한 Lysimeter에서 수거된 유거수의 분석자료(표 3)를 근거로 하여 조사기간중에 내린 강우량(379 mm)중 유거수량(221 mm)을 ha 당 각 이온들의 용탈량을 산출해 보았다. 그림 2에서와 같이 양이온 중의 용탈량은 시험포장의 표토 및 유거수중에 농도가 가장 높았던 Ca<sup>2+</sup>이 59.9 kg/ha로 가장 많았으며 그다음은 K<sup>+</sup>이 20.3 kg/ha 이었다. 그러나 Na<sup>+</sup>은 4.2 kg/ha로 용탈량이 적은 반면

Table 3. H, EC, and salt contents in runoff and rainwater

Chemical component	Date				Mean	Rain water
	2, Aug.	13, Aug.	18, Aug.	30, Aug.		
	(137.7)	(22.5)	(73.8)	(143.8)		
pH	6.4	7.6	7.1	6.8	6.8	5.4±0.08
EC(dS/m)	0.34	0.30	0.21	0.17	0.26	0.02±0.01
PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> (mg/L)	3.67	3.93	2.73	2.38	3.18	0.48±0.07
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	36.35	22.85	25.06	17.32	25.40	1.10±0.20
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	63.20	81.74	72.18	36.38	63.38	1.14±0.16
Cl <sup>-</sup>	5.82	5.42	3.03	3.46	4.19	0.86 ±0.13
K <sup>+</sup>	2.56	15.48	11.14	8.03	9.18	0.37±0.07
Ca <sup>2+</sup>	9.36	42.61	31.84	24.66	27.12	0.40±0.09
Mg <sup>2+</sup>	1.33	3.63	3.30	2.07	2.53	0.08±0.02
Na <sup>+</sup>	0.98	3.16	2.09	1.31	1.89	0.82±0.08

빗물로 토양에 공급될수 있는 양은 다른 양이온 보다 많았으며 Mg은 용탈량 및 빗물중에 함유한 양이 적었다. 빗물에 의한 양이온들의 용탈량은 토양중에 높은 함량 순으로 많아지는 경향이 있었다. 음이온의 용탈량은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 140.1 kg/ha로 가장 많았으며 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: 56.1 kg/ha, Cl<sup>-</sup>: 9.3 kg/ha, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>: 7.0 kg/ha 순으로 많았다. PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> 이온은 토양중에 집적된 유효인산 함량이 매우 높았음에도 불구하고 용탈량은 가장 적었다. 이는 토양중에 집적된 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>이 유거수와 함께 용출되어 이동되지 않는다는 것을 시사하고 있다.

Burwell 등<sup>2)</sup>은 연평균 유거수량이 107.2~140.4 mm 일때 유거수에 의해 용탈되는 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, P, K의 양이 각각 2.70~10.10 kg/ha, 0.35~1.19 kg/ha, 1.90~8.4 kg/ha 이고 질소의 용탈량이 다른 성분들에 비하여 훨씬 많아 수질오염의 심각성을 우려하였으며, 빗물에 포함되어 용탈되는 기타 성분들에 대한 조사가 필요하다고 하였다. Branson 등<sup>3)</sup>은 150 kg/ha/Year의 질소를 시용할 경우 배수량과 배수되는 유거수의 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 농도를 측정하여 용탈되는 N의 량을 추정한 결과 127 mm의 유거수의 평균 NO<sub>3</sub><sup>-</sup> 함량은 18.0 mg/L이었으며, 지표에서 용탈되는 N의 양은 22.4 kg/ha 정도라고 하였다. 이러한 보고와 비교하여 본 시험의 유거수중에 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>의 함량이 25.4 mg/L 이고 용탈량이 56.1 kg/ha인 결과와 같이 용탈된 각 이온들의 양적인 차이를 보이는데 이와 같은 결과의 차이는 시험토양의 물리 화학적 특성, 강우량 그리고 유거수의 수거 조건등에 의한 것으로 판단된다. 그러나 양적인 차이는 있지만 이온들의 용탈 경향은 어느 정도 일치하는 경향을 보이고 있어 매우 많은 염류들이 유거수로 이동되어 수질을 오염시킬 수 있음을 예측할 수 있다. 또한 유거수와 함께 많은 염류가 용탈되는 결과는 장마철에 시설을 제거했을 때 토양의 EC가 제거하지 않은 토양보다 2.5~5.0배가 낮아진 강 등<sup>4)</sup>의 연구결과와도 밀접한 관계가 있다.

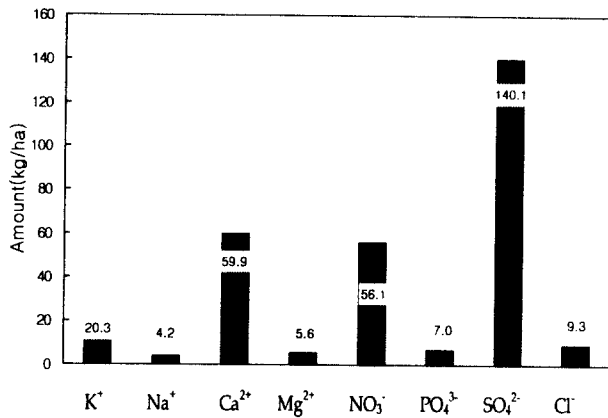


Fig. 2. Amount of cations and anions lost from greenhouse field soil by runoff on condition of this experiment.

시설재배지 토양 및 유거수의 이온의 함량 및 용탈량을 분석한 결과로 볼때 석회, 원예용복합비료 그리고 최근에 많이 사용하는 질산염비료인 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, KNO<sub>3</sub>, 등의 과다 사용에 의한 시설재배 토양에 주로 집적될 수 있는 염의 종류는 Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>, KNO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub> 등으로 예측할 수 있다. 석회의 사용은 산도교정 효과를 기대할수 있지만 한편으로는 염류농도 증가에 영향을 미칠 수 있으므로 시설재배지에 대한 석회 사용량은 염류집적에 미치는 영향을 평가해서 결정해야 할 것으로 생각되었다. 小野등<sup>9)</sup>은 작물에 대한 양분공급을 위한 비료사용은 토양의 염류농도를 증가시킬 뿐 아니라 강우나 관개수에 의한 유실 정도를 고려하여 高 stress형 및 底 stress형 비료로 분류하였고, 시설재배지의 합리적인 토양관리를 위하여 토양의 염류농도를 고려한 시비량 조절과 비료의 종류 선택도 매우 중요하다고 강조하였다. 따라서 시설재배지에 대한 농가관행적인 비과화적인 과다 시비는 토양환경 악화에 의한 염류장해 및 자원의 낭비뿐만 아니라 수자원의 오염원이 될 수 있으므로 시설재배 원년부터 토양정밀 검정에 의한 과학적인 시비방법 개선은 시설의 활용도 증가 및 농업환경을 보전할수 있다는 시설재배 농가의 인식전환이 무엇보다 필요하다고 생각된다.

## 요 약

염류가 집적된 시설재배지 토양에 대한 유거수에 의한 염류의 이동을 조사하여 농업환경보전자료로 활용하고자 충북 청주지역 시설재배농가 포장에 유거수를 수거할 수 있는 lysimeter를 설치하여 시험을 수행한 결과 다음과 같다.

본 시험중에 내린 강우량의 유거수율은 38~77%의 범위로 평균 58% 이었고 유거수중의 양이온 평균 함량은 Ca<sup>2+</sup>(27.12 mg/L)

> K(9.18 mg/L) > Mg<sup>2+</sup>(2.53 mg/L) > Na<sup>+</sup>(1.89 mg/L)의 순이었으며 음이온들의 평균 함량은 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>(63.38 mg/L) > NO<sub>3</sub><sup>-</sup>(25.40 mg/L) > Cl<sup>-</sup>(4.19 mg/L) > PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>(3.18 mg/L)의 순이었다. 조사기간중에 내린 강우량의 유거수에 의한 용탈량은 농도가 가장 높았던 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>가 140.1 kg/ha 로 가장 많았으며 그다음은 Ca<sup>2+</sup>: 59.9 kg/ha, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>: 56.1 kg/ha, K<sup>+</sup>: 20.3 kg/ha, Cl<sup>-</sup>: 9.3 kg/ha, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>: 7.0 kg/ha, Mg<sup>2+</sup>: 5.6 kg/ha, Na<sup>+</sup>: 4.2 kg/ha 순이었다. 유거수의 PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>의 함량 및 용탈량은 토양에 집적된 함량에 비하여 낮았다.

## 참고 문헌

1. Branson, R. L., Pratt, P. F., Rhoades, J. D. and Oster, J. D. (1975) Water quality in irrigated watersheds, *J. Environ. Qual.* 4(1), 33-40.
2. Burwell, R. E., Timmons, D. R. and Holt, R. F. (1975) Nutrient transport in surface runoff as influenced by soil cover and seasonal periods, *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 39, 523-528.
3. 정구복. (1994) 중북부 지역 시설원예지 토양의 토성, 염농도 및 화학성분의 조성. *韓土肥誌.* 27(1), 33-39.
4. 강보구. (1986) 답토양에서 퇴비용이 시비질소 동태에 미치는 영향. 충북대 대학원 석사학위논문.
5. Kowalenko, C. G. (1980) Transport and transformation of fertilizer-N in a sandy field plot using tracer technique, *Soil Sci.* 129(4), 218-221.
6. 이용환, 신용광, 황광남, 이경수. (1993) 비닐하우스 토양의 화학적 특성에 관한 연구, *韓土肥誌.* 26(4), 236-240.
7. 오왕근. (1983) 토양관리와 비료. 가리연구회.
8. 小野信一, 森昭徳. (1996) 하우스栽培で施用する化學肥料の形態が土壤に与える化學的ストレス. *日土肥誌.* 67(4), 371-376.
9. 박백균, 전태하, 김유학, 오효균. (1994) 주요 논·밭작물에 대한 농가시비 실태, *韓土肥誌.* 27(3), 238-246.
10. Quin, B. F. and Forstite, L. J. (1978) Surface irrigation of pasture with treated sewage effluents. II. Drainage losses of nitrate and other nutrients, *J. Agric. Res.* 21, 427-434.
11. Rible, J. M. and Davis, L. E. (1955) Ion exchange in soil cloumns, *Soil Sci.* 79, 41-47.
12. Sharma, P. K., Shinha, A. K. and Chaudhary, T. N. (1985) Movement of surface and deep placed phosphorous in a sandy loam soil in relation to intial soil wetness, amount of water applied, and evaporation potentials, *Soil Sci.* 140, 256-262.