

자연강우에 의한 간척지토양의 이화학적 특성변화

Changes of physico-chemical properties in the reclaimed tidal land soils by precipitation

김재영* · 손재권* · 구자웅* · 최진규*

*전북대학교 농과대학 (농업기술연구소)

Kim, Jae-Young* · Son, Jae-Gwon* · Koo, Ja-Woong* · Choi, Jin-Kyu*

*College of Agriculture (Agri. Science & Tech. Institute),
Chonbuk National University

--- ABSTRACT ---

Changes of chemical properties by times of the reclaimed tidal land soils and soil surface water, underground infiltration water with precipitation-runoff on natural meteorological condition in the unripened tidal reclaimed paddy fields were investigated.

This study was carried out to use environment-friendly farm land in the reclaimed tidal lands.

The soils used in this study were saline-alkaline soils with the high Na^+ and Mg^{++} content. As the results of investigation outflow loading of nutriments through outflow water in the unripened tidal reclaimed paddy fields by precipitation during the survey period, nutriments equivalent to T-N $1 \sim 2 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ and T-P $0.01 \sim 0.02 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ from in the unripened tidal lands were discharged. Besides, the results of comparison losses of cation through outflow water showed $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$, and the highest appeared water discharge of Na^+ .

In case of saemangeum reclaimed tidal land soils water discharge of cations showed $\text{Ca}^{++} 1.3 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$, $\text{Mg}^{++} 1.6 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$, $\text{Na}^+ 17.7 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$, and $\text{K}^+ 3.2 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ respectively. On the other hand, in case of koheung reclaimed tidal lands soils water discharge of cations showed $\text{Ca}^{++} 18.1 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$, $\text{Mg}^{++} 31.2 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$, $\text{Na}^+ 320.8 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$, and $\text{K}^+ 51.2 \text{ kg } 10\text{a}^{-1}$ respectively.

1. 서 론

최근 우리나라는 급속한 산업발전과 경제발전 및 인구증가 등으로 많은 산업용지와 주택용지를 필요로 하게 되었다. 이로 인해 농경지가 식량의 공급이라는 본래의 사용목적 이외에 부족용지의 공급이라는 역할까지 하게 되어 1988년에는 전 국토면적의 21.6 %에 달했던 농경지가 1999년에는 19.1 %로 점차 감소되고 있다. 이는 휴경지의 증

가에 따른 농경지의 감소현상 보다는 공업화, 산업화 그리고 인구증가로 인해 필요로 하는 타용지를 농경지에서 전용하여 사용하기 때문이다. 다가올 21세기의 안정적 식량공급과 남북통일 후의 상황 등을 감안한다면 최소한의 우량농지 및 농경지의 확보와 이에 대한 효과적인 활용대책의 수립이 우리가 해결해야 할 가장 큰 과제중의 하나라고 볼 수 있다. 이에 대한 대책의 일환으로 개발 잠재력을 지닌 서·남해안의 간척자원을 대상으로 식량

생산기저로서의 우량 농경지의 확보를 위해 새만금지구를 비롯한 여러 곳에서 간척사업이 진행되고 있다.

간척지 개발에 있어서 방조제 축조 등 토목분야의 간척기술은 상당한 수준으로 향상되고 있으나, 간척사업으로 형성되는 내부 간척지의 적극적인 활용방안의 수립을 위한 토양특성 조사 등 기초기술에 대한 연구는 구³⁾, 조¹¹⁾ 등의 연구를 제외하고는 아직까지 부족한 실정이다. 뿐만 아니라 간척지토양에 대하여 토양 화학적으로 광범위하게 접근한 연구결과도 권⁴⁾, 유와이⁶⁾, 정¹²⁾ 등에 의하여 일부 소개되어 있을 뿐이다.

간척지를 식량 및 고소득 작물 생산기지 등 농경지로 개발하여 효율적으로 활용하기 위해서는 간척지 토양에 대한 물리·화학적 특성을 체계적으로 분석하고, 가용성 염류와 치환성나트륨 백분율이 과다하게 함유되어 있는 간척지에서 작물의 정상적인 생육이 가능하도록 토양의 질을 건전하게 유지할 수 있는 방안이 모색되어야 한다.

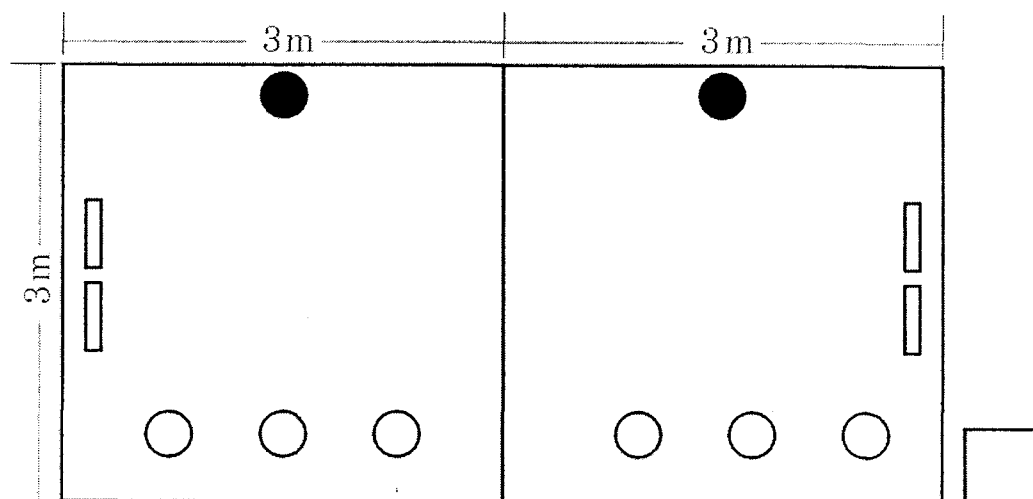
따라서 본 연구에서는 우리나라 서·남해안에서 현재 시행중이거나 향후 개발예정지인 간척지역의 초기 간척담을 대상으로 자연적인 기상조건하에서 강우-유출조건에 따른 토양면 유출수, 지하침투수 그리고 간척지 토양의 시기별 화학적특성의 변화를 조사하여 간척지를 친환경적인 농경지로 활용할 수 있도록 하기 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

II. 재료 및 방법

1. 공시토양의 선정 및 처리구의 배치

본 실험에 사용된 간척지 토양은 배수양호토양으로 새만금 간척토양 1점과 배수불량토양으로 전남 고흥 간척토양을 선정하여 시험포장에 장비(백호 및 텀프트릭)를 이용하여 운반하였다. 시험포장의 위치는 전북대학교 농과대학 실험실습 포장이며, 자연적인 기상조건하에서 간척지토양의 화학적 특성조사를 위해 3m × 3m × 1m (B×L×H) 크기의 라이시미터를 2조 설치하였다 (그림 1). 시험포장의 조성은 설치된 라이시미터에 간척지 현장에서 운반된 토양을 로다와 인력으로 침하를 감안하여 기준깊이 1m보다 15% 정도 여유를 두어 채운후 6개월 정도 침하와 다짐이 자연적으로 이루어지도록 하였다.

시험포장에 설치된 시설로는 강우량 측정을 위한 우량계 (Casella rainfall system, England) 1조, 유출수량 측정을 위한 자기수위계 (Water level recorder, Ota Co. Ltd., Japan) 및 웨어 시설 1조, 화학성분의 지하이동 현상을 조사하기 위하여 Ceramic porous cup을 90 cm 깊이에 설치하였다. 그리고 침투수량계 (2800K 1, Guelph, USA) 1조를 설치하였다. 모든 측정 기기는 2000년 5월 1일부터 2000년 11월 30일까지 운영하였다. 강우계는



〈그림 1〉 시험포장의 배치도

(● : 웨어, □ : 토양액 채취관, □ : 수위계, □ : 강우계)

시험포장의 관개수 유입구 옆에 설치하였으며, 강우 자료는 자기 우량계의 자기기록지에 누가우량으로 기록된다. 유출수량은 웨어에서 유출되는 수위를 측정한 다음 웨어유량공식을 이용하여 유량을 산정하였다.

2. 시료채취 및 분석방법

강우시료는 매 5 mm 이상의 강우사상이 발생할 때마다 시료를 채취하여 일별 함량을 나타내었으며, 유출수는 유출사상 발생전, 침투유출, 유출후 유출수를 채취하여 일별 평균 데이터를 적용하였다. 또한 침투수는 시험포장에 90 cm 깊이로 진공을 걸어 매설한 Ceramic porous cup으로 이동한 용액을 매 2주 간격으로 채취하여 화학분석에 사용하였다. 모든 수질시료는 폴리에틸렌 용기 (2 L)에 채수하였으며, 4 °C 이하의 온도로 보관하면서 분석시료로 사용하였다.

시료의 분석은 USDI의 FWPCA manual에 기준

하였다. 전질소는 수질시료 500 mL를 취하여 각각 환원증류-킬달법으로 분석하였다. 전인은 수질시료 500 mL를 취하여 50 mL로 농축한 다음 ascorbic acid reduction법에 기준하여 분석하였다. 토양분석은 Jackson (1967)의 방법에 기준하였다. 입도조성은 micropipette법으로 측정한 다음 미농무성의 토성분류법으로 분류하였으며, 토양 pH는 1:5 H₂O 현탁액 중에서 유리전극으로 측정하였고, 유기탄소 함량은 Walkley-Black 법으로, 양이온 치환용량은 1-N ammonium acetate를 이용하여 토양을 NH₄⁺로 포화시킨 후 킬달증류법을 이용하여 측정하였으며, 치환성 양이온은 1N-ammonium acetate로 침출하여 유도결합플라즈마 (Liberty Series II, Varian, Australia)로 분석하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 간척지 토양의 이화학적 특성

〈표 1〉 공시토양의 이화학적 특성

| Physico-chemical properties | Soil treatment | |
|--|----------------|----------|
| | Saemangeum | Kohenung |
| Organic matter(%) | 3.56 | 3.79 |
| pH(1:5) | 7.82 | 8.61 |
| EC(mmho cm ⁻¹) | 11.4 | 59.7 |
| Total-N (mg kg ⁻¹) | 473.9 | 634.2 |
| Total-P (mg kg ⁻¹) | 150.5 | 228.4 |
| CEC (cmol ⁺ kg ⁻¹) | 11.5 | 16.2 |
| Exchangeable cations (cmol ⁺ kg ⁻¹) | | |
| Ca ⁺⁺ | 8.0 | 62.4 |
| Mg ⁺⁺ | 35.8 | 75.8 |
| Na ⁺ | 113.2 | 285.3 |
| K ⁺ | 13.9 | 22.9 |
| Physical properties | | |
| Bulk density | 1.40 | 1.32 |
| Particle density | 2.65 | 2.58 |
| Porosity(%) | 47.2 | 48.8 |
| Saturation percentage(%) | 43.4 | 70.9 |
| Particle size fraction (%) | | |
| Sand | 41.9 | 3.4 |
| Silt | 52.0 | 85.4 |
| Clay | 6.1 | 11.2 |
| Soil texture | Silt loam | Silt |

〈표 2〉 강우-유출사상

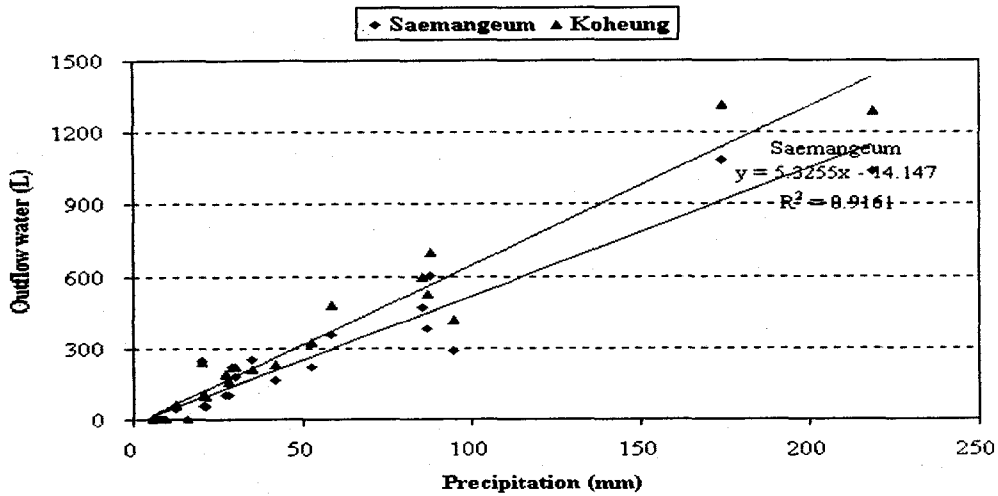
| Date | Precipitation(mm) | Outflow water(L) | |
|---------|-------------------|------------------|----------|
| | | Saemangeum | Kohenung |
| 00/5/10 | 8.0 | 0 | 0 |
| 00/5/15 | 5.4 | 0 | 0 |
| 00/5/27 | 20.6 | 56.0 | 107.9 |
| 00/6/03 | 9.4 | 0 | 0 |
| 00/6/08 | 26.8 | 104.4 | 192.1 |
| 00/6/10 | 87.8 | 600.8 | 699.4 |
| 00/6/22 | 34.8 | 254.7 | 212.2 |
| 00/6/24 | 20.0 | 250.1 | 243.9 |
| 00/6/26 | 41.6 | 165.2 | 234.2 |
| 00/7/10 | 58.0 | 356.0 | 478.1 |
| 00/7/14 | 30.0 | 180.1 | 222.7 |
| 00/7/19 | 12.2 | 44.2 | 60.9 |
| 00/7/23 | 94.4 | 287.2 | 416.1 |
| 00/7/30 | 86.4 | 381.2 | 526.5 |
| 00/8/04 | 28.8 | 220.4 | 220.6 |
| 00/8/06 | 5.4 | 0 | 0 |
| 00/8/19 | 85.0 | 470.2 | 600.2 |
| 00/8/24 | 174.0 | 1082.1 | 1317.5 |
| 00/8/31 | 52.2 | 22.0 | 323.3 |
| 00/9/03 | 27.8 | 102.4 | 162.1 |
| 00/9/08 | 21.0 | 59.0 | 96.0 |
| 00/9/09 | 15.8 | 0 | 0 |
| 00/9/12 | 8.8 | 0 | 0 |
| 00/9/13 | 97.2 | 312.4 | 465.9 |
| 00/9/14 | 53.2 | 298.1 | 431.8 |
| 00/9/15 | 23.8 | 220.5 | 298.3 |
| 00/9/16 | 35.6 | 207.1 | 91.3 |
| Total | 1164.0 | 6373.2 | 7401.0 |

자연기상 조건하에서 강우-유출에 의한 초기 간척토양의 화학적 특성변화에 대한 실험을 수행하기 전 공시토양에 대한 기본적인 특성을 조사하였다(표 1). 시험토양중 유기물의 함량은 3.56~3.79%의 범위로 우리나라 일반 농경지토양에 비하여 조금 높은 경향이였다. 수소이온농도(pH)는 새만금 간척토양 7.82 그리고 고흥 간척토양 8.61로서 알칼리성을 나타내고 있었으며, 시험전 초기 전기전도도는 11.4~59.7 mmho cm⁻¹로 상당히 높은 상태였다. 치환성 양이온의 함량을 조사한 결과 나트륨과 마그네슘이 상대적으로 칼슘과 칼륨에 비해 높았으며, 고흥 간척토양에서 칼슘의 함량이 새만금 간척토양에 비하여 5배 이상 높게 나타났다. 새만금

간척토양은 모래와 미사의 함량이 94% 정도를 함유한 실트롬(silt loam)으로 나타난 반면, 고흥 간척토양은 89% 수준으로 실트(silt)질 토성을 갖고 있는 것으로 나타났다. 또한, 시험대상 간척토양의 물리적 성질중 가비중, 진비중, 공극율, 포화도는 새만금 토양이 1.40, 2.65, 47.2%, 43.4%, 고흥 토양은 1.32, 2.58, 48.8%, 70.9%로 각각 조사되었다. 이들은 모두 염농도가 높고, Na와 Mg함량이 높아 saline-alkaline토의 특징을 나타내고 있다.

2. 강우-유출 특성

2000년 5월 1일부터 2000년 11월 30일까지 시



〈그림 2〉 강우량과 유출수량과의 관계

협기간 동안 조사 대상지역에 내린 강우량과 강우 특성을 조사한 결과는 다음과 같다. 장마는 6월 22일에 시작하여 7월 20에 종료되었는데, 약 28일로서 예년의 29일과 비슷한 경향이었다. 관개기간 동안에 내린 강우량은 1,214 mm로 나타났다. 본 조사기간 동안의 강우특성은 9월에 약 280 mm의 강우량이 기록되었다는 점이다. 9월 중 강우량은 1990년부터 1996년까지의 예년 강우량의 약 200%를 나타내었다. 이 가운데 5 mm 이상의 강우사상은 27회였으며, 강우-유출사상은 21회로 조사되었다 <표 2>. 이들 토양을 대상으로 강우량과 유출수량과의 관계를 조사한 결과 2개의 처리구 모두에서 강우량과 유출수량간에는 유의성있는 직선관계가 나타났다 <그림 2>. 특히 투수성이 불량한 고흥 간척토양에서 더 유의성이 높게 나타났는데 이는 내린 강우의 대부분이 침투과정이 발생하기 전에 이미 유출되고 있음을 보여주는 결과로 생각된다.

3. 수질시료중 화학성분의 함량변화

시험포장으로 유·출입되는 강우, 유출수 그리고 침투수를 대상으로 화학성분의 함량변화를 <표 3>에 나타내었다. 강우시료중 EC는 11.1~37.3 $\mu S cm^{-1}$ 의 범위로 평균 23.3 $\mu S/cm$ 를 나타내었다. 시기별로는 5월에 높게 나타났는데 이는 소량의 빗물에 다량의 대기오염물질이 혼합되었기 때문인 것으로 생각된다. 전체적으로 강우량이 많을수록 EC의

함량이 낮게 나타났는데 이는 강우에 의해 여러 가지 이온성물질이나 대기오염물질들이 희석되었기 때문인 것으로 생각된다. 조와 김 (1987)이 조사한 전라북도 임실지역의 강우중 EC 12.8 $\mu S cm^{-1}$ 와 김제지역의 강우중 EC 20.4 $\mu S cm^{-1}$ 와 비교시 본 조사시기에서 조금 높게 나타났다. 강우시료중 전질소의 함량은 0.35~2.32 $mg L^{-1}$ 의 범위로 평균 0.97 $mg L^{-1}$ 를 나타내었다. 전인의 함량은 0.001~0.04 $mg L^{-1}$ 의 범위로 평균 0.01 $mg L^{-1}$ 를 나타내었으며, 조사기간 동안 가용성인은 검출되지 않았다. 이등 (1990)에 의하면 경기도 화성군 일대의 수도작지대에 내리는 강우성분을 조사한 결과, 가용성인은 검출되지 않았으며, 전인의 함량은 시기에 관계없이 0.04~0.08 $mg L^{-1}$ 로 낮은 함량을 나타내었다고 보고하였는데 본 조사결과는 이보다 약간 낮게 나타났다. 양이온성분 가운데 Ca^{++} 는 0.01~0.34 $mg L^{-1}$ 의 범위로 평균 0.07 $mg L^{-1}$, Mg^{++} 는 0.01~0.39 $mg L^{-1}$ 의 범위로 평균 0.07 $mg L^{-1}$, Na^{+} 는 0.01~0.71 $mg L^{-1}$ 의 범위로 평균 0.17 $mg L^{-1}$ 그리고 K^{+} 는 0.01~0.18 $mg L^{-1}$ 의 범위로 평균 0.03 $mg L^{-1}$ 를 나타내었다. 강 등 (1995)이 조사한 전라북도 익산지역의 강우성분 결과와 비교시 본 조사에서 양이온 함량이 상당히 낮게 나타났다. 이는 강 등 (1995)이 조사한 전라북도 익산지역의 경우 서해안과 근접해 있어 해수의 영향과 함께 중국에서 매년 4월경에 불어오는 황사현상(黃砂現象)의 영향을 본

조사지점 보다 더 많이 받았기 때문인 것으로 생각된다. 또한 이들 양이온의 시기별 함량변화는 전기전도도의 변화와 유사한 경향을 나타내었다.

조사기간동안 시험포장에서 유출된 유출수중에 존재하는 각종 화학성분의 시기별 함량변화를 조사한 결과는 다음과 같다. 유출수의 pH는 새만금 간척토양의 경우 6.79~9.50의 범위로 평균 7.71 그리고 고흥 간척토양의 경우 6.80~9.01의 범위로 평균 8.16을 나타내었다. 각 처리구별로 시기별 pH 변화를 조사한 결과 큰 차이를 나타내지 않았다. EC는 새만금 간척토양 622~1,702 $\mu S cm^{-1}$ 의 범위로 평균 1,170 $\mu S cm^{-1}$ 그리고 고흥 간척토양의 경우 1,099~3,130 $\mu S cm^{-1}$ 의 범위로 평균 2,259 $\mu S cm^{-1}$ 을 나타내었다. 각 처리구별로 시기별 EC 변화를 조사한 결과 강우가 지속될수록 점진적으로 EC가 감소하는 경향을 나타내었다. 이는 자연강우

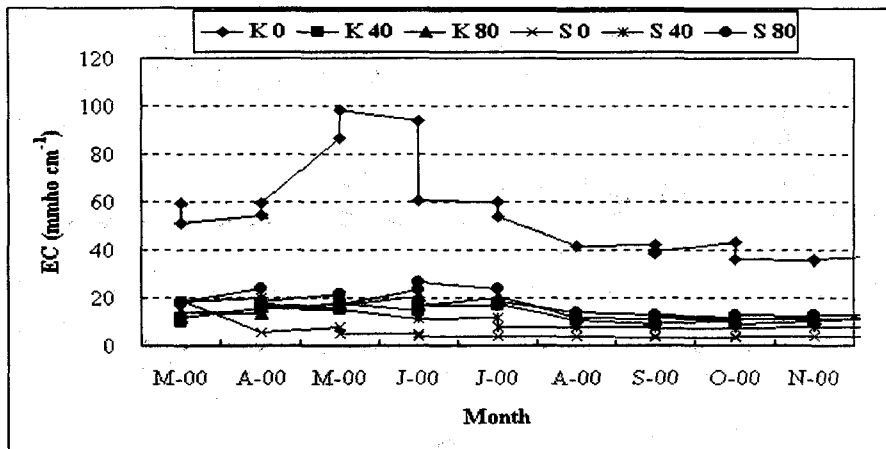
에 의해 토양으로부터 용출된 수용성 양이온이 유출수를 통하여 제거되고 있음을 나타내 주는 결과로 생각된다. 유출수 시료중 전질소의 함량은 0.65~6.45 $mg L^{-1}$ 의 범위로 평균 2.77 $mg L^{-1}$ 를 나타내었으며, 전인의 함량은 0.004~0.108 $mg L^{-1}$ 의 범위로 평균 0.036 $mg L^{-1}$ 를 나타내었다. 이들 화학성분의 함량은 시기별, 토양별로 큰 차이를 나타내지 않았다. 본 시험은 초기 간척답을 대상으로 자연강우에 의한 간척지 토양의 화학성분의 변화를 조사하고자 하였는데, 강우를 통한 화학성분의 유입 이외에는 전질소와 전인의 함량변화가 나타날 요인이 없기에 거의 큰 변화없이 일정하게 유지되었다. 유출수중 양이온의 함량은 새만금 간척토양에서 보다 고흥 간척토양에서 대부분 10~50배 이상 높게 나타났다. 특히 이들 양이온 가운데 나트륨의 함량이 가장 높게 나타났다.

〈표 3〉 강우, 유출수, 침투수중 화학성분의 농도

| Sample | | T-N | | T-P | | Ca ⁺⁺ | | Mg ⁺⁺ | | Na | | K | |
|--------------------|------|------|------|-------|-------|------------------|-------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | S | K | S | K | S | K | S | K | S | K | S | K |
| Precipitation | Mean | 0.97 | | 0.01 | | 0.07 | | 0.067 | | 0.169 | | 0.032 | |
| | Max | 2.32 | | 0.04 | | 0.34 | | 0.387 | | 0.709 | | 0.182 | |
| | Min | 0.35 | | 0.001 | | 0.01 | | 0.010 | | 0.010 | | 0.010 | |
| | S.D. | 0.49 | | 0.01 | | 0.07 | | 0.108 | | 0.142 | | 0.023 | |
| Outflow water | Mean | 2.37 | 3.17 | 0.046 | 0.035 | 0.148 | 1.389 | 0.26 0 | 3.646 | 1.335 | 19.97 | 0.146 | 1.878 |
| | Max | 5.40 | 6.45 | 0.108 | 0.097 | 0.873 | 2.196 | 0.75 2 | 5.308 | 2.754 | 32.23 | 0.209 | 3.468 |
| | Min | 0.65 | 1.05 | 0.004 | 0.010 | 0.040 | 0.770 | 0.16 0 | 2.378 | 0.948 | 11.16 | 0.06 | 1.37 |
| | S.D. | 1.51 | 1.54 | 0.027 | 0.021 | 0.189 | 0.552 | 0.14 0 | 0.664 | 0.478 | 5.44 | 0.042 | 0.614 |
| Infiltration water | Mean | 0.84 | 0.89 | 0.027 | 0.035 | 3.56 | 3.69 | 4.31 | 4.44 | 36.38 | 32.15 | 3.68 | 2.96 |
| | Max | 1.13 | 1.51 | 0.039 | 0.046 | 3.68 | 4.77 | 4.56 | 4.74 | 45.90 | 36.25 | 3.86 | 3.62 |
| | Min | 0.45 | 0.48 | 0.012 | 0.028 | 3.44 | 2.55 | 3.92 | 3.89 | 35.29 | 28.81 | 2.85 | 1.86 |
| | S.D. | 0.21 | 0.29 | 0.007 | 0.007 | 0.08 | 0.70 | 0.24 | 0.26 | 2.92 | 2.53 | 0.32 | 0.56 |

[주] 시료수 : 강우(23), 유출수(18), 침투수(9)

단위 : T-N, T-P : $mg L^{-1}$, 양이온 : $cmol L^{-1}$



〈그림 3〉 간척지 토양중 전기전도도의 변화

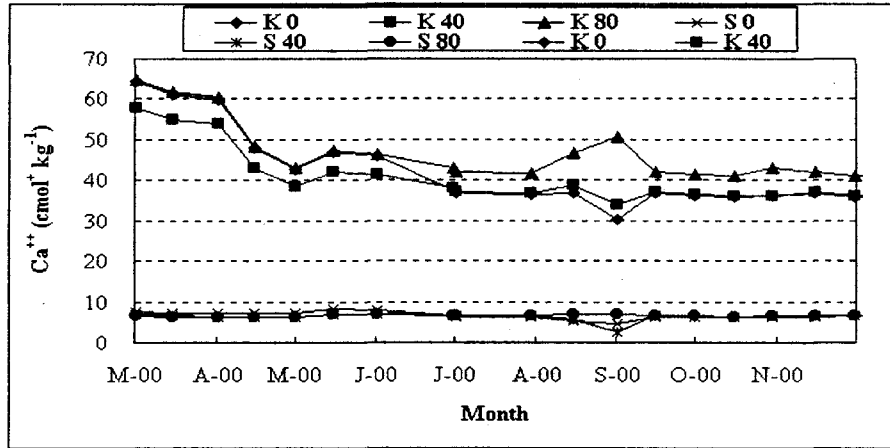
(S : 새만금 간척토양, K : 고흥 간척토양, 0, 40, 80은 토양깊이)

관개기간인 5월부터 9월까지 시험포장에 90 cm 깊이로 매설된 토양용액 채취관으로 이동한 침투수 중 화학성분의 시기별 함량변화를 조사한 결과는 다음과 같다. pH는 8.11~8.99의 범위로 평균 8.49로 나타났으며, 처리구별로 큰 차이를 나타내지 않았다. 그러나 EC의 경우 처리구에 따라 큰 차이를 나타내었다. 위에서 언급한 바와 같이 고흥 간척토양의 경우 자체 염류의 농도가 높아서 침투수중 이온성물질들의 함량이 높게 나타났다. 침투수 시료중 전질소의 함량은 0.45~1.51 mg L⁻¹의 범위로 평균 0.85 mg L⁻¹를 나타내었으며, 전인의 함량은 0.012~0.046 mg L⁻¹의 범위로 평균 0.028 mg L⁻¹를 나타내었다. 또한 이들 화학성분의 함량은 시기별, 토양처리구별로 큰 차이를 나타내지 않았다. 토양으로부터 질산태질소의 하향이동은 주로 토양수분의 수리경사(hydraulic gradient) 형성에 따른 대류이동(convective transport)에 의하여 진행되므로 강우량이 질산태질소의 용탈에 가장 크게 관여하는 요인으로 알려져 있다. 일반적으로 토양으로부터 양분의 용탈은 지상부에서의 증발산량에 비하여 강우량이 많을 때 일어나며, 질산태질소의 용탈은 강우량과 정의 상관(r=0.89)을 갖고서 용탈된다고 알려져 있다(윤과 유, 1994). 양이온 성분의 함량변화는 전기전도도의 변화와 비슷한 양상을 나타내었으며 칼슘, 마그네슘 그리고 칼륨의 함량은 두 처리구에서 그다지 큰 차이를 나타내지 않았으나, 나트

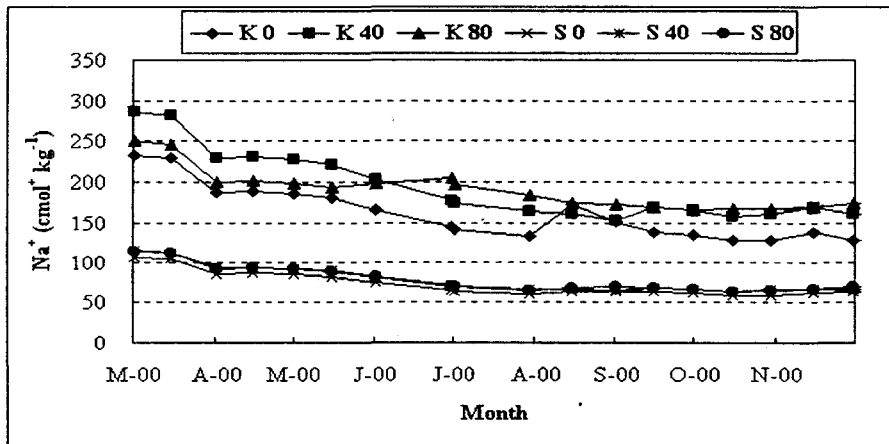
륨의 함량은 새만금 간척토양이 고흥 간척토양에서 보다 더 높게 나타났다. 이같은 경향은 위의 유출수 중 양이온의 성분변화에서 언급한 바와 같이 고흥 간척토양은 토양자체가 불투수성 토양인 관계로 침투수량이 상대적으로 작아 침투과정을 통한 양이온의 지하이동량이 작았기 때문인 것으로 생각된다.

4. 자연적인 기상조건하에서 간척지토양의 화학적 특성 변화

2000년 3월부터 2000년 11월까지 9개월 동안 매 2주 간격으로 초기 간척 토양에 존재하는 화학성분의 시기별 함량변화를 조사한 결과는 다음과 같다. pH는 2개 처리 간척지토양의 경우에서 토심별로 큰 차이를 나타내지 않았으며, 6.4~9.0의 범위로 평균 8.05를 나타내었다. EC는 토심별로 큰 차이를 나타내었는데, 고흥 간척토양의 경우 토심 0 cm에서 가장 높았으나 새만금 간척토양의 경우는 토심 80 cm에서 가장 높게 나타났다(그림 3). 전질소의 함량은 392~679 mg kg⁻¹의 범위로 평균 505 mg kg⁻¹ 그리고 전인의 함량은 142~231 mg kg⁻¹의 범위로 평균 174 mg kg⁻¹을 나타내었다. 이들 영양물질의 함량은 강우 이외의 특별한 공급원이 없는 관계로 큰 함량변화가 나타나지 않았다. 시기별로는 질소의 경우 강우-유출이 지속됨에 따라 원래 토양중에 존재하는 가용성 질소의 일부분이 용출과 유출



〈그림 4〉 간척지 토양중 Ca⁺⁺의 당량 변화

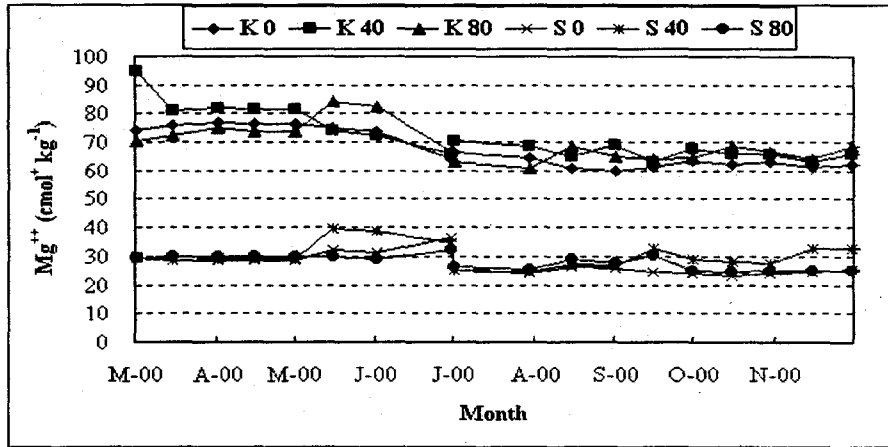


〈그림 5〉 간척지 토양중 Mg⁺⁺의 당량 변화

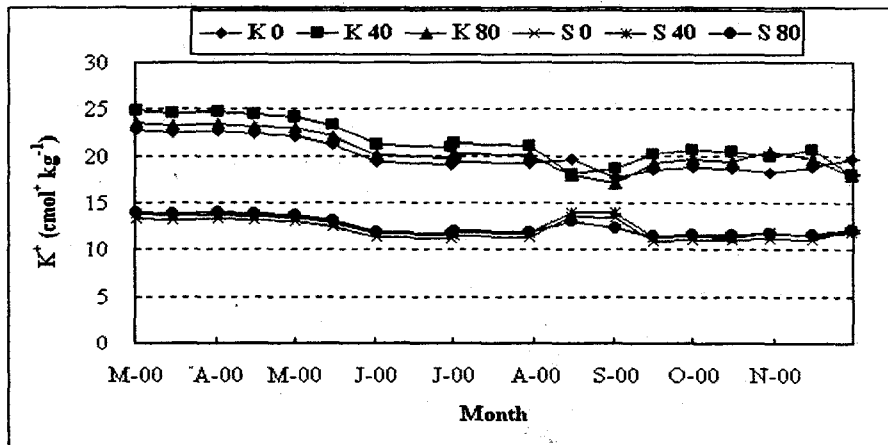
과정을 반복하게 됨으로써 소폭이나마 그 함량이 감소하는 경향이었으나, 인의 경우는 가용화되는 인의 양이 극미량인데다 토양내에서의 이동성이 낮은 관계로 큰 차이를 나타내지 않았다. 유와 이 (1976)에 의하면 우리 나라 논토양중 인산은 Fe와 결합된 형태의 인산이 많이 존재하며, 환원성 Fe-P를 포함하면 Fe와 결합된 인산이 전체의 50%를 넘어 토양내에서 이동성이 작은 것으로 알려져 있다.

간척지토양중 양이온 성분의 함량을 토양별로 비교한 결과 〈그림 4〉~〈그림 7〉에 나타난 바와 같이, 고히 간척토양의 경우는 Na⁺ > Mg⁺⁺ > Ca⁺⁺ >

K⁺의 순으로 양이온이 분포하였으며, 토양깊이별로 함량이 큰 차이를 나타내지 않았다. 양이온성분의 당량은 Ca⁺⁺의 경우 30.48~64.87 cmol kg⁻¹의 범위로 평균 43.89 cmol kg⁻¹, Mg⁺⁺는 59.70~95.12 cmol kg⁻¹의 범위로 평균 70.19 cmol kg⁻¹, Na⁺는 128.9~286.7 cmol kg⁻¹의 범위로 평균 184.6 cmol kg⁻¹ 그리고 K⁺는 17.16~24.94 cmol kg⁻¹의 범위로 평균 20.82 cmol kg⁻¹을 나타내었다. 새만금 간척토양의 경우, Na⁺ > Mg⁺⁺ > K⁺ > Ca⁺⁺로 나타나 고히 간척토양과는 칼륨과 칼슘의 분포함량이 차이를 나타내고 있었다. 양이온성분의 당량은



〈그림 6〉 간척지 토양중 Na⁺의 당량 변화



〈그림 7〉 간척지 토양중 K⁺의 당량 변화

Ca⁺⁺의 경우 2.69~11.59 cmol kg⁻¹의 범위로 평균 7.63 cmol kg⁻¹, Mg⁺⁺는 23.13~39.76 cmol kg⁻¹의 범위로 평균 28.19 cmol kg⁻¹, Na⁺는 58.56~134.49 cmol kg⁻¹의 범위로 평균 80.79 cmol kg⁻¹ 그리고 K⁺는 10.76~14.30 cmol kg⁻¹의 범위로 평균 12.47 cmol kg⁻¹을 나타내었다. 토양의 담수기간이 경과될수록 토양용액 중에는 Ca⁺⁺와 Mg⁺⁺를 포함한 여러 양이온의 농도변화가 생기게 되는데 본 조사에서는 강우를 통하여 천연적으로 공급되는 일부 양이온과 함께 토양내에서 이동, 용탈, 용출되어 공급되는 양이온이 함께 유출수나 침

투수를 통하여 점진적으로 감소하고 있는 것으로 나타났다.

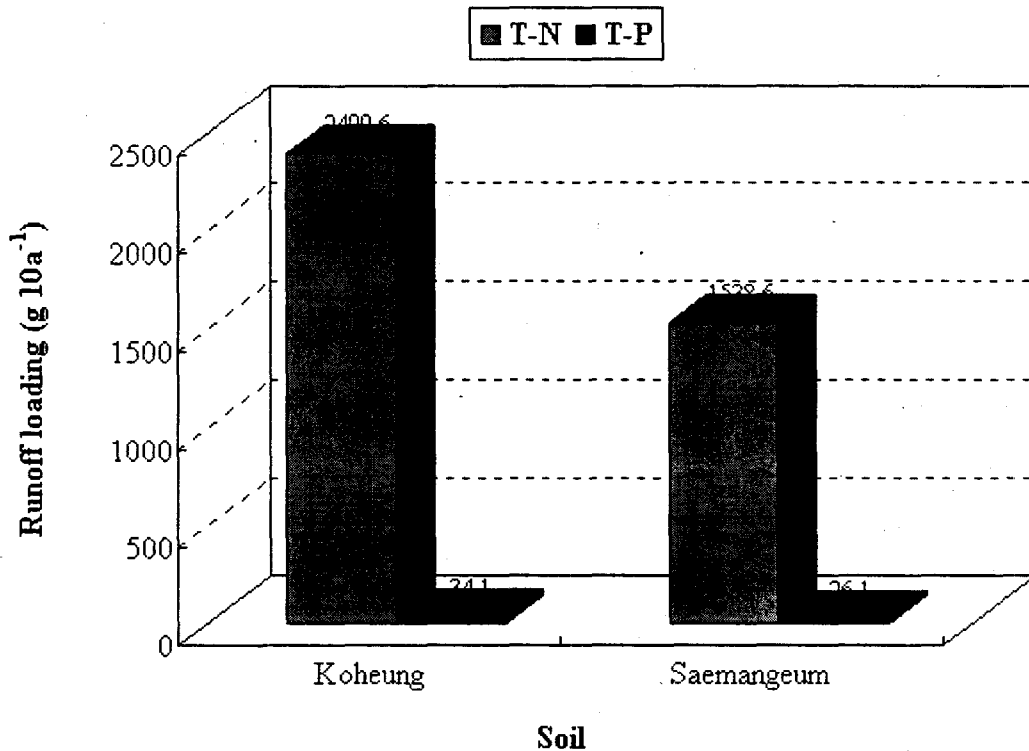
오 등 (1976)은 투수에 의하여 제염을 시도할 경우 순수를 사용하면 총투수량이 15 mm 정도에서 이미 토양표면의 분산된 입자에 의하여 공극이 폐쇄되어 투수가 정지되며, 용수의 염분함량이 0.2% 이상이 되어야 투수속도가 유지된다고 하였다. 이때 투수속도를 높이기 위하여 석고와 염화칼슘을 토양 표면에 처리하면 효과적이라고 하였다. 그러나, 지하배수 시설이 없는 신간척지에서는 투수성 제한 인자가 표토의 투수성 악화보다는 대공극이 적어 자

체의 투수성이 낮고, 지형이 평탄하고 지하수위가 높아 배수되는 물의 수리경사가 낮은 것이 주 요인 이므로 논물의 염농도가 높은 물을 사용하여도 투수 및 제염촉진 효과가 없음이 지적되었다.

5. 자연 기상조건하에서 간척지토양으로부터 영양물질의 유출

조사기간 동안 자연강우에 의해 비경작지인 초기 간척지에서 유출수를 통한 영양물질의 유출부하량을 조사한 결과는 다음과 같다 <그림 8>. 고흥 간척토 양의 경우 전질소 2.40 kg 10 a⁻¹ 그리고 전인 0.034 kg 10 a⁻¹에 해당하는 양이 유출되었으며, 새만금 간척토양에서는 전질소 1.54 kg 10 a⁻¹ 그리고 전인 0.026 kg 10 a⁻¹에 해당하는 영양물질이 인근 해안 및 담수호로 유입될 수 있는 것으로 조사 되었다. 이 결과는 영농활동이 전혀 이루어지지 않 고 간척지 조성후 자연상태로 방치하였을 경우 토양 자체에 함유되어 있는 영양물질이 자연강우에 의해

어느 정도 가용화되어 부하되는가를 나타내 주고 있 다. 본 조사기간 동안 강우에 의해 공급되는 전질소 의 유입량은 0.42 kg 10 a⁻¹, 전인은 0.01 kg 10 a⁻¹로 조사되었기에 유출수에 의해 부하되는 총 유 출부하량에서 강우에 의해 공급되는 양을 제외하면 평균적으로 전질소 1~2 kg 10 a⁻¹ 그리고 전인 0.01~0.02 kg 10 a⁻¹ 정도가 신개간 간척지로부터 유출되고 있음을 확인할 수 있었다. 이 같은 결과는 미경작 상태로 유지되고 있는 신개간 간척지에서도 연근해 해안 및 담수호의 부영양화에 영향을 미칠 수 있는 수준의 질소와 인이 간척지로부터 부하되고 있음을 나타내 주고 있다. 덧붙여서 영농활동을 수 행하게 되면, 농경지에 시비된 화학비료나 유기물에 의해 영양물질의 유출부하가 더 증가할 것으로 생각 되기에 연근해 해안 및 담수호의 수질환경을 건전하 게 유지하기 위해서는 간척지 토양중에서 영양물질 의 물질순환 메카니즘에 대한 연구가 지속적으로 진행되어야 할 것으로 생각된다.



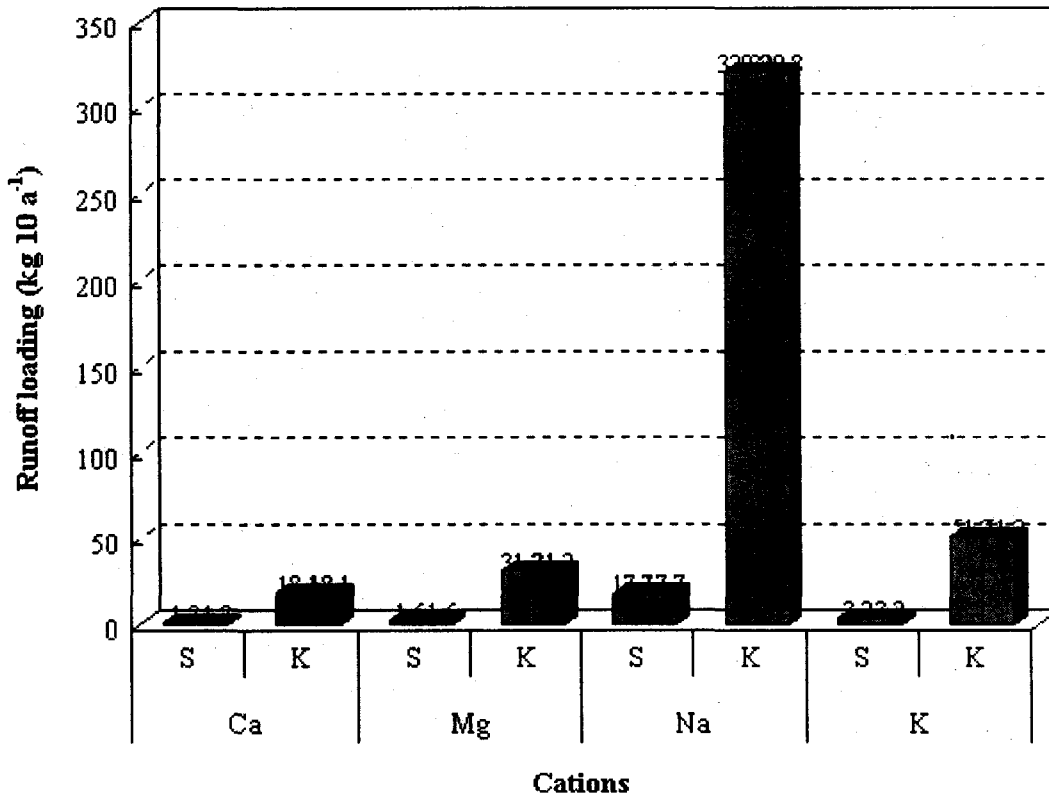
<그림 8> 강우-유출 과정중 유출수에 의한 전질소와 전인의 유출부하량

6. 자연강우에 의한 제염효과 평가

자연강우가 개발초기 신간척담의 염류이동에 미치는 영향을 조사한 결과 <그림 9>에서 보는 바와 같다. 본 시험포장에서 조사기간동안 강우-유출 과정에서 유출수를 통하여 제거되는 양이온의 양을 조사한 결과는 다음과 같다. 강우에 의해 시험포장 안으로 유입되는 양이온의 함량은 평균적으로 Ca^{++} 0.07, Mg^{++} 0.07, Na^+ 0.17 그리고 K^+ 0.03 mg L^{-1} 로 나타나 농도가 낮은 수준임을 알 수 있다. 따라서 강우에 의해 공급되는 양이온의 유입량은 무시하였다. 여기에서 제시하는 결과는 시험포트 (3 m × 3 m × 1 m)에서 유출되는 유출수중 양이온의 농도를 측정한 다음 유출수량을 곱하여 산정하였다. 유출수를 통한 양이온의 손실량을 양이온의 조성별로 비교한 결과, $Na^+ > K^+ > Mg^{++} > Ca^{++}$ 의 순서로 나타났으며 Na^+ 의 유출량이 가장 높게 나타났다. 새만금 간척토양의 경우 양이온의 유출량은

Ca^{++} 1.3 kg $10 a^{-1}$, Mg^{++} 1.6 kg $10 a^{-1}$, Na^+ 17.7 kg $10 a^{-1}$ 그리고 K^+ 3.2 kg $10 a^{-1}$ 로 나타났다. 반면에, 고흥 간척토양의 경우 양이온의 유출량은 Ca^{++} 18.1 kg $10 a^{-1}$, Mg^{++} 31.2 kg $10 a^{-1}$, Na^+ 320.8 kg $10 a^{-1}$ 그리고 K^+ 51.2 kg $10 a^{-1}$ 로 나타났다. 위의 결과에서 보는 바와 같이 평균적으로 고흥 간척토양에서의 양이온 유출량이 새만금 간척토양에서보다 20배 이상 높게 나타났다. 이 같은 결과는 자연강우에 의해서도 상당히 많은 양의 양이온이 유출되어 제염효과가 있음을 확인할 수 있었다.

본 논문에서는 자세히 언급하지 않았지만 추후 세부적인 보완실험을 통하여 자연강우에 의해 제염이 진행될 경우 영농활동이 가능한 제염소요시기 및 기타 제염과정에서 식물생육에 필요한 미량원소 및 영양물질의 손실에 대해서도 자세히 연구를 진행할 계획으로 있다.



<그림 9> 강우-유출 과정에서 유출수에 의한 양이온의 유출량 (S는 새만금 간척토양, K는 고흥 간척토양)

IV. 요약 및 결론

본 연구는 초기 간척답을 대상으로 자연적인 기상 조건하에서 강우-유출조건에 따른 토양면 유출수, 지하침투수 그리고 간척지 토양의 시기별 화학적 특성의 변화를 조사하여 간척지 토양중에서 질소와 인을 포함한 영양물질의 물질순환 메카니즘을 구명함으로써 간척지를 친환경적인 농경지로 활용할 수 있도록 하기 위한 기초자료를 제공하기 위해 수행되었다.

1. 본 실험에 사용된 토양은 새만금 간척토양과 고흥 간척토양으로서 Na^+ 과 Mg^{++} 의 함량이 높은 saline-alkaline 토양의 특성을 나타내고 있었다.
2. 조사기간 동안 자연강우에 의해 비경작지인 초기 간척답에서 유출수를 통한 영양물질의 유출부하량을 조사한 결과, 총유출부하량중 강우에 의해 공급되는 양을 제외하면, 전질소 $1 \sim 2 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ 그리고 전인은 $0.01 \sim 0.02 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ 에 해당하는 영양물질이 신개간 간척지로부터 유출되고 있었다.
3. 또한 유출수를 통한 양이온의 손실량을 비교한 결과, $\text{Na}^+ > \text{K}^+ > \text{Mg}^{++} > \text{Ca}^{++}$ 의 순서로 나타났으며 Na^+ 의 유출량이 가장 높게 나타났다.
4. 새만금 간척토양의 경우 양이온의 유출량은 Ca^{++} $1.3 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$, Mg^{++} $1.6 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$, Na^+ $17.7 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ 그리고 K^+ $3.2 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ 로 나타났다. 반면에, 고흥 간척토양의 경우 양이온의 유출량은 Ca^{++} $18.1 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$, Mg^{++} $31.2 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$, Na^+ $320.8 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ 그리고 K^+ $51.2 \text{ kg } 10 \text{ a}^{-1}$ 로 나타났다.

이 논문은 2000년도 전북대학교의 연구비 지원에 의해 수행되었음

參考文獻

1. 강예목 외 5인, 1999, 신제 간척공학, 향문사.
2. 강종국, 심형권, 이종식, 김종구, 이재길, 소재돈. 1995. 전북이리지역 강수성분 조사. 한국환경농학회지. 14(1) : 15 ~ 22
3. 구자용, 최진규, 손재권. 1998. 우리나라 서해안 간척지 및 간척지토양의 이화학적 특성. 한국

- 토양비료학회지. 31(2) : 120 ~ 127
4. 권순국, 정두호, 한옥동. 1980. 암거배수간격이 배수 및 간척지 제염에 미치는 영향. 농사시험연구보고서 22호.
 5. 오영택, 홍종운, 이정기. 1976. 간척지 토양 제염 촉진에 관한 연구. 농업기술연구소 시험연구보고서 : 485 ~ 580
 6. 유순호, 이상모. 1988. 간척지 제염과정에서 일어나는 토양의 수리전도도와 유출액의 화학적 특성변화에 관한 실험적 연구. 한국토양비료학회지. 21(1) : 3 ~ 10
 7. 유순호, 이원조. 1976. 신개간지 인산비옥도 증진에 관한 연구. 한국토양비료학회지. 9(2) : 251 ~ 256
 8. 윤순강, 유순호. 1993. 토양중 질산태질소의 행동과 지하수질. 한국환경농학회지. 12(3) : 281 ~ 297
 9. 이창기, 이길철, 이흥재, 유홍일, 이민효, 김성환, 김성수, 김기현, 김삼권, 김상돈. 1990. 영농화학물질의 적정사용 방안에 관한 연구 : 비료를 중심으로. 국립환경 연구원보. 11 : 293 ~ 310
 10. 조재규, 김복영. 1987. 농작물환경오염피해 현지 진단 및 강수성분조사. 농사시험 연구보고서. 46 ~ 54
 11. 조영길, 조인상, 엄기태. 1992. 신간척지에서 근권의 염농도 저하방법이 토양특성과 작물생육에 미치는 영향. 한국토양비료학회지. 25(2) : 127 ~ 132
 12. 정연태, 엄기태, 신용화. 1976. 우리나라 남해안에 분포된 간척지 토양의 특성에 관한 조사 연구 (가포통에 관하여). 한국토양비료학회지 9(2) : 101 ~ 107
 13. Jackson, M. L. 1967. Soil chemical analysis, Prentice-Hall of India private limited, p. 134 ~ 181, New Delhi
 14. U. S. Department of Interior. 1971. FWPCA methods for chemical analysis of water wastes Natl. Environ. Res. Center, Anal. Qual. Control Lab., Cincinnati, Ohio.