

GOVP1200211030

최 중  
연구보고서

# 장기연작 시설재배지 토양구조 및 수리특성 개선 방법 개발에 관한 연구

Development of improved soil structure and  
hydraulic properties in a longer cultivation  
of plastic house soil

충남대학교

농림부

## 제 출 문

농림부 장관 귀하

본 보고서를 “장기연작 시설재배지 토양구조 및 수리특성 개선  
방법 개발에 관한 연구” 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2001 년 11 월 29 일

주관연구기관명 : 충 남 대 학 교

총괄연구책임자 : 정 덕 영

세부연구책임자 : 정 덕 영

연 구 원 : 이규승, 오석호

서동욱, 이창호

협동연구기관명 : 농업과학기술원

협동연구책임자 : 엄 기 철

# 요 약 문

## I. 제 목

장기연작 시설재배지 토양구조 및 수리특성 개선 방법 개발

## II. 연구개발의 목적 및 중요성

2000년 기준 우리 나라의 일반 노지 작물과 주요 시설재배작물의 재배 면적은 약 235만 ha로 이중 전용 시설재배지는 약 26만 ha 정도이며 답전(沓田)윤환 형태의 시설재배 농경지를 포함하면 약 32만 ha에 이르고 있다.

그러나 현재의 우리 나라 시설재배는 동일 토양에서 연간 최소 3 ~ 4 회 연작을 하며 매 작기마다 경운, 시비, 농약 사용을 하고 있는 것이 특징이다. 이러한 작부방식에 의해 근권층 내에 과도한 염류가 집적되거나 일반 농지보다 병해 발생이 심하여 농작물 생산량과 품질에 영향을 주어 폐농에 직면하는 농가도 있어 우리 나라의 시설원예가 시급히 해결해야 될 최대의 과제이다.

현재까지 국내외에서 연구되거나 활용되고 있는 제염법은 ① Ca 이온을 함유하는 토양개량제의 시용에 의한 치환용탈, ② 유기물을 시용하여 토양 물리성을 개선을 통한 용탈 세척, ③ 압거 및 명거 배수 등이 있다.

①번의 경우 현 국내 시설재배지에 적용할 경우 심층토 토양구조 특성 등의 요인에 의해 공극특성과 투수성 등의 토양물리성을 더 악화시켜 제염의 효과를 기대하기 어렵다. ②번의 경우 유기물 시용을 통하여 토양의 입

단화에 따른 토양의 물리성 개선을 들 수 있으나 현재 국내 시설재배지 토양의 경우 표층(A층)내의 과도한 유기물은 수분보유력을 증가시켜 염류이온의 표층 체류 시간을 연장시킨다. 따라서 일반적으로 알려진 유기물 시용에 의한 토양입단화의 효과보다는 CEC 증가 등에 따른 영향이 클 것으로 추정되며 또한 압밀 현상 등에 형성된 심층토의 개선이 없는 실제 유기물 시용에 따른 제염 효과는 기대하기 어려울 것으로 판단된다. ③번의 명거배수의 경우 과량의 양질의 관개수를 사용하여야하나 현 우리나라의 시설재배지의 특성상 어렵고 암거배수 또한 관리와 기계경운과 설치비용에 문제점이 있다.

지표면으로부터 약 20내지 30cm 깊이에 용적밀도  $1.45\text{g cm}^{-3}$  정도의 경반층 형성 요인으로 경운을 들 수 있다. 이는 Falsey (USDA)의 결과처럼 Loamy Sand 토양에 가해지는 압력이  $1\text{kg cm}^{-2}$ 에서  $2\text{kg cm}^{-2}$ 로 증가함에 따라 Infiltration rate는  $0.1\text{cm hr}^{-1}$ 에서  $0.01\text{cm hr}^{-1}$ 로 약 1/10정도로 감소된다는 사실로도 유추할 수 있다.

시설재배지 내 토양의 용적밀도 변화는 년 중 평균 3번 이상의 기계에 의한 토양 정지 작업에 의해 경운에 의해 파쇄되는 표층 15내지 20cm 아래에 위치하는 심토층 내에 다져짐 현상과 잦은 관수에 의한 표층내의 점토와 같은 미세한 토양입자가 심토층 내에 집적하게 되어 토양수와 용존물질의 수직이동에 영향을 주어 이러한 염류장해를 발생시키는 염류이온의 집적에 직접적인 원인으로 작용한다.

일반적으로 작물의 염류장해에 의한 피해는 전기전도도가 약  $2\text{dS m}^{-1}$  이하일 경우 피해가 없다고 하며,  $2\text{dS m}^{-1} \sim 4\text{dS m}^{-1}$ 의 범위에서는 약 10% 정도,  $4\text{dS m}^{-1} \sim 6\text{dS m}^{-1}$ 의 범위에서는 약 25%정도  $6\text{dS m}^{-1} \sim 8\text{dS m}^{-1}$ 의 범위에서는 50% 이상의 수량이 감소되는 것으로 보고되었다(US Salinity Lab, 1997).

상기의 자료를 근거로 하여 상추의 시설재배지의 전기전도도가  $2dS\ m^{-1}$  ~  $4dS\ m^{-1}$ 의 범위로 약 10% 정도의 수확 감소를 추정하면 수확감소비용과 경상비 손실 비용을 합산하면 오이의 경우 10a당 약 106만원 정도의 손실이 추정되며 년 3모작 기준시 약 318만원 정도의 손실이 예상된다. 한편 시설재배 농민들은 이러한 염류장해와 복합적으로 발생하는 병해 방지를 위하여 다량의 농약을 사용하고 있어 작물의 안정성 또한 우려될 뿐만 아니라 인접 국가인 대일 농산물 수출에도 작물의 품질 저하와 위해성 문제 등으로 인하여 어려움을 주고 있는 실정이다.

그러므로 집약적 다작 경운이 실시되고 있는 우리의 시설재배지의 경우 심층토내에 기계적 다져짐 현상이 발생할 가능성이 클 뿐만 아니라 직접 경운에 의해 이러한 다져짐층을 파쇄하여 물리성을 개선시키기는 어려울 것으로 판단된다.

따라서 이러한 다져짐층을 파쇄하거나 기계적 경운에 의해서도 다져짐층이 형성되지 않는 토양 관리 기법과 시설재배지의 있어서 염류집적 방지 뿐만 아니라 작물에 병해를 저감시키는 적정 토양수분관리 방식이 도입하여 현행 적용되고 있는 염류 장해 개선 방식의 효율성을 높이기 위해서는 상기에서 살펴본 요인을 고려한 제염법이 개발되어야 할 것으로 판단된다.

### III. 연구개발 내용 및 범위

본 연구개발은 국내 시설재배지의 최대 문제점인 염류장해와 병해저감을 위하여 토양의 선택적 수분 이동이론을 응용하여 효과적이며 장기간 별도의 관리 방법이 요구되지 않는 장기 연작 시설재배지 토양구조 개발과 작물의 수분요구도에 따른 적정 토양수분 관리방법을 개발하여 시설재배지 염류장해와 병충해저감 및 과학적 시설재배지 관리에 의한 시설재배지 토

양 구조 개선과 토양수분관리기법 개발을 하며 년차별 개발목표는

1년차에는

1. 연작지 문제점, 연작지 구조개선, 토양수분관리 현장 조사
2. 토양구조 개선 소재 선정
  - ① 소재별 입경크기, Shear Strength, 압밀성,
  - ② 부피변화(Shrinkage factor)와 파쇄성,
  - ③ 수분보유력 검정
3. 토양구조별 특성 수분과 물질 이동 특성 시험
  - ① 물리성 변화 - 압밀성, 소성, 액성, 통기성,  
열전도율 특성
  - ② 화학성 변화 - pH, EC, CEC 등
  - ③ 관개 수량별 토층 변화 특성 - 깊이별 토양입자이동 및 집적  
투수계수 변화
4. 토양 구조별 작물생육 시험
5. 시설재배지 토양구조별 관배수 기준 설정
6. 적정 토양구조 시공 모형 시험
7. 토양구조 모형별 수분특성 정량화

2년차에는

1. 현장적용 시험 및 기본 모형 완성
2. 토양 개선 구조별 토양구조개선제 보완
3. 적정 토양 구조 모델과 관리 방법 표준화

4. 장기연작지 토양수리관리 기준설정 연구를 한다.

#### IV. 연구개발 결과 및 활용에 대한 건의

##### 1. 연구개발결과

###### 1) 인공토양소재를 이용한 시설재배지 토양구조 개선

본 연구는 인공토양 소재인 펄라이트를 이용하여 시설재배지 토양의 근권층과 근권층 이하의 토양의 물리적 구조를 개선한 것이다.

구조개선의 기본 목적은 염류장해와 병해저감을 위하여 토양의 선택적 수분이동이론과 토양 구조나 토성에 따른 수분보유능과 치환능을 응용하여 효과적이며 장기간 별도의 관리 방법이 요구되지 않는 장기 연작시설재배지 토양구조 개발과 작물의 수분요구도에 따른 적정 토양수분 관리방법을 개발하여 시설재배지 염류장해와 병충해저감 및 과학적 시설시설재배지 관리에 의한 환경친화형 농업화를 목적으로 하였다.

그리고 구조 개선시 주안점은

###### 1) 경제성 있는 토양구조 개선 기술

1회 토양구조 개선시 장기간 활용 (최소 1년 3기작, 3년 총 9기작)하여 경제성을 높이는 것을 목적으로 하여 1차 토양구조 개선에 필요한 소요비용 대비 토양구조 개선 후 농작물 재배에 따른 실질농업소득 증대를 기하는 경제성을 비교 분석하여 토양 개선 구조 개선을 하였다. 일례로 10a 당 토양구조 개선시 토양구조 개선에 필요한 증장비, 펄라이트 등에 소요되는 비용이 약 3백만원 정도로 예상시 약 600만원 정도의 소득증대를 목표로

하였으며 그리고 3년 후 토양 구조 재 개선시 1차 초기 소요 비용의 1/5 이하의 비용으로 개선 작업이 가능하도록 설계되었다. 따라서 저비용, 고효율의 토양구조 개선 작업이라 할 수 있다.

## 2) 농업용수 관개 및 관리 기술

일반적으로 시설재배지에서의 관개 방식은 최소 3일 내지 7일 정도에 1회씩 점적 또는 살수관개를 실시하고 있는 것으로 조사되었다. 그러나 현재 시설재배의 농가의 현황을 살펴보면 관개에 필요한 양질 (전기전도도 2 dS m<sup>-1</sup> 이하)의 농업용수를 확보하기가 어렵고 또한 10a 당 1회 관수시 약 20톤 이상의 관개를 하고 있는 것으로 조사되었다. 이를 토양내 관개 깊이로 환산시 약 4 cm 정도에 불과하여 실질적으로 작물의 생육단계별 근권분포와 비교시 실질적으로 도움이 되지 않을 뿐더러 시설재배지내의 온도 조건 등을 고려시 상당한 양의 관개수가 증발되어 손실되는 것으로 조사되었다. 따라서 본 토양구조 개선 작업을 시설재배지 토양에 적용시 수분의 토양내 분포를 용이하게 하여 동일 양의 관개수를 처리하더라도 실질 관개 깊이는 약 8 cm 내지 12 cm에 달해 근권층내에서 수분이 이용율을 높일 수 있을 뿐만 아니라 증발 등에 의한 수분 손실을 최소화 할 수 있는 이점을 가지고 있다.

## 3) 농업용 자재 절감 및 친환경 농산물 생산

시설재배지 10a를 기준시 농업과학기술원 기준으로 하는 표준 수량의 수확을 얻기 위한 유·무기비료와 농약만을 환산한 경상비는 오이의 경우 약 54만원 정도 소요되며 10% 수확 감소를 기준시 약 6만원 정도의 경상비 손실이 예상되며 현재 시설재배지는 더 많은 경상비가 소요되는 것으로 추정된다. 따라서 염류장해 피해를 5%로 저감시 약 3만원 정도의 경상비 손



실이 줄어들게 되는 효과를 가져온다. 특히 이외에 농업 생산에 소요되는 비용을 환산하면 이보다 더 많은 비용 절감이 예상된다. 이와 같이 시설재배지에서 소요되는 일상 농자재 비용을 절약시킬 수 있을 뿐만 아니라 농자재 사용 절감에 따른 토양환경 및 지하수 오염 방지에 기여할 수 있고 농자재 사용 절감 재배기술 적용에 따른 농산물 품질의 안전성 및 친환경 농산물로서의 인증시 일본을 포함하는 대외 농산물 수출 문제로 지적되고 있는 농산물 품질의 향상으로 인한 대외 농산물 수출 증대의 부수 효과를 기대할 수 있다.

#### 4) 연계산업 시너지 효과

토양구조개선제 및 토양구조 개선 시공기술 전문화에 따른 산업 시너지 효과 등도 기대 할 수 있다.

## 2. 활용 분야 및 방안

### 1) 활용 분야

#### ① 기존 시설재배 농가의 시설재배지 개선

현재 다년간 시설재배를 하고 있는 시설재배 농가 중 염류 장애 등의 문제점을 가지고 있는 시설 농가에 보급

#### ② 신규 답(짚)전환 시설재배지 농가

일반적으로 답을 시설재배지로 전환하고자 할 때 문제점은 지표면으로부터 약 20 cm 이하에 투수성이 매우 불량한 층이 존재하는 경우가 많아 시설재배지 전환 후 수년 이내에 일반 장기 시설재배지 토양과 같은 문제점을 노출하고 있다. 따라서 이러한 농가의 경우 답 전환시 초기에 비용을 투자하여 토양물리성이 개선

된 시설재배지에서 작물 재배시 작물 생산에 유리하다.

③ 신간척지 개선(Reclamation) 사업에 활용

일반적으로 김포간척지 등은 염류농도가 기준치 이상으로 높아 작물 생육에 적절한 토양으로 개선시 장기간이 소요할 뿐만 아니라 경제성이 문제가 되고 있다. 따라서 이러한 신간척지 개선 작업시 초기에 비용을 투자하여 적정 기준으로 토양을 개선하여 작물의 품질 및 수량을 확보하여 경제성을 높일 수 있다.

④ 조경 토양구조 설계에 적용

현재 대단위 주거단지나 건물 옥탑 등에 조경을 위하여 경량 퍼라이트 등을 이용한 조경용 식생용 기반구조를 하고 있다. 그러나 이러한 구조는 다량의 용수가 필요하며 실질 식물 생육에 필요한 기반 토양구조로서의 역할이 미흡하다. 따라서 이러한 조경 토양구조 설계에 적용시 용수관리 등에 유리할 뿐만 아니라 경제성도 개선시킬 수 있다.

⑤ 토양 오염 복원지 복원 사업에 활용

폐광산 지역이나 토양이 오염되어 토양 복원을 필요로 하는 지역에 활용할 수 있다. 일례로 on-site로 토양복원시 물리적 방법의 하나가 Pump-Treat 방식이 많이 적용되고 있으며 특히 점토 성분이 높은 토양의 경우 복원시 화학적 처리 등이 필요할 경우가 있다. 이러한 오염 토양의 복원시 물리성 개선을 시도한 후 2차 처리를 하는 것이 유리하다. 따라서 이러한 경우 복원하고자 하는 토양의 토양구조 개선 방식을 적용 후 복원을 하게 되면 복원기간의 단축뿐만 아니라 복원 효율 증대에 따른 경제성도 높일 수 있다.

## 2) 활용 방안

① 일반적으로 토양구조 개선시 소요되는 비용이 농가에게 부담이 될 수 있다. 따라서 현재 정부가 실시하고 있는 농지개선 자금의 적극적 활용방안을 건의하고 싶다. 일례로 농지개선시 주로 노지를 대상으로 한 객토 등의 농지 개선을 실시하고 있는 데 이주를 이루고 있는데 이러한 농지개선 자금의 일부를 지역별로 시설재배지 개선에 할당하여 시설재배지 문제점을 해결하는 방안을 제의하고 싶다

② 현재 정부와 농민이 50 대 50으로 부담하는 농업컨설팅 제도가 시행되고 있는 것으로 안다. 이는 주로 토양조사를 위주로 하여 실시되고 있는데 이를 좀 더 보완하여 시설재배지 개선에 활용하는 방안을 건의하고 싶다.

③ 농림부에서 저리 용자 형태로 시설재배지 농가의 토양개선 자금으로 지원하는 방안과 특히 퍼라이트를 생산하는 업체의 경우 시설재배지 토양개선에 사용되는 퍼라이트 공급시 일정액을 보조해주는 방안

④ 특정 산업체를 토양개선 컨설팅과 토양개선을 병행하도록 제도를 보완하는 방법을 도입하여 날로 증가되어 가는 시설재배지 토양개선을 통하여 농가수입증대 및 친환경농업을 실천하는 방안을 모색하여야 할 것이다.

## SUMMARY

### I. Title

Development of improved soil structure and hydraulic properties in a longer cultivation of plastic house soil.

### II. Objectives and Importances of Investigation

In 2000, the total area of the plastic house soils in Korea was approximately 320,000 ha including the short term area such as a paddy which was used as rotation after rice harvest among the total 235,000,000 ha of aerable area in agriculture.

These plastic house soils tend to be used at least three or four times throughout year, accompanied by frequent mechanical tillage, fertilization, herbicide applications, and so on. Therefore, there were accumulation of a high salt and formation of a impermeable layer in some depth of soil, resulting in deterioration of crop quality and cause of disease which affected the farm-household's economy. And so it is imperative to develop the technology to resolve these problems as soon as possible.

It has been done a lot of researches related to salinity. Those researches and techniques developed are as follows: ① Leaching by ion exchange using soil conditioner such as chemical containing Ca ion, ② Washing and leaching the high salts accumulated in soil by

the application of organic matter, and ③ surface and subsurface drainage to drain the salts from the some depth of soil. However, these techniques can not be used because of some problems such as deterioration of soil physical properties, extension of retention of time for the salts in the specific depth of the soils, and lack of a good quality of irrigation water in our agricultural area and high cost in applying the desirable technique.

Generally there were at least three times of tillage, resulting in the formation of the compacted layer just below the plow layer due to the heavy traffics during the mechanical tillage. Also there were illuviation of clay particles influenced by the frequent irrigation and low bulk density in the top later. This phenomena may cause the accumulation of the salts in that layer around 20 to 25 cm below the surface. These accumulation influenced the quality of crop and yield up to 50% when the electrical conductivity may exceed  $2\text{dS m}^{-1}$ , that is the critical value for crop growth.

According to the calculation in economic loss based on the results done by US salinity laboratory in USA, we assume that there is the loss of 1,060,000 won for a cucumber cultivation in 10 a. Also the salinity symptoms can not be differentiated from the other disease which can be occurred during growth period. Therefore, the farmers were used to apply the pesticide when they noticed any retarded crop growth. Sometimes the farmers could not export their products to the foreign countries such as Japan even though they has the contract with importers.

Therefore it is imperative to develop the technologies to resolve these problems occurring the agricultural areas in Korea. But it is necessary to consider the present technologies developed or applied in the saline before development of the improved technology. In this investigation, it was intended to apply the preferential flow of water in soils to solve the saline and disease problems. And it must be developed in terms of efficiency of solute removal and water uses.

### III. Content and ranges of the investigation

The principle theories adopted in this experiment were a follows ;  
i) Preferential flow of water depending on the soil physical properties ; ii) easiness of solute removal from the specific depth by ion exchange from soil particle surface.

In the 1st year we did the following experiment and surveys in order to exploit the targets we established in the beginning.

1. On site survey for problems of the plastic house soils, improvement methods of soil physical properties and soil water management.

2. Selection of the materials for the improvement of soil structure used in the fields.

- ① Particle size, Shear Strength, Compaction,
- ② Shrinkage and breakage factor
- ③ Water holding capacity

3. Transport phenomena of solute and water depending on the soil structures.

① Change in Physical properties-Compaction, plasticity, liquid limit, aeration, specific heat, and heat transfer rate, and so on.

② Change in chemical properties - pH, EC, CEC, and so on.

③ Changes in soil layers depending on the irrigation - soil particle translocation and hydraulic conductivity

4. Crop growth depending on the soil structure

5. Standards of irrigation and drainage depending on the soil structure

6. Simulation test for the proper soil structure

7. Water requirement depending on the model of the developed soil structure

In the second year, we did the following experiment as completion of the experiment.

1. Completion of the basic model throughout on-site experiment

2. Selection methods of the soil conditioner depending on the soil

structure.

3. Standardization of management and proper model for soil structure

4. Soil water treatment methods for the plastic house soils.

#### **IV. Results and comments for the investigation developed**

##### **1. Results**

1) Reclamation of soil structure using artificial soil materials in the plastic house soils.

In this experiment, we developed the soil physical properties below the rhizosphere in the plastic house soil by utilizing the perlite manufactured by Samson Perlite Co. Ltd., The principle object was to develop the soil structure which could be used for the longer period without any treatment to improve the soil physical and chemical properties by applying the theories of preferential water flow and their water holding capacity in order to cultivate the crops without any salinity problem or diseases in the plastic house.

The major point of this investigation are

- 1) Economical improvement in soil structure design
- 2) Control and management of irrigation water



- 3) Reduction of agricultural material usage and production of environmentally sound agricultural products
- 4) Synergy effects on the related businesses

## 2. Utilization and strategies of technology developed

### 1) Utilization Areas

- ① Reclamation of the plastic house soils for the present plastic house
- ② New plastic house soils that can be changed from other uses such as a paddy soil
- ③ Reclamation of newly developed tidal soil
- ④ Application of landscaping design
- ⑤ application of the soil remediation

### 2) Utilization strategies of technology

- ① Governmental support by allocating the fund which is used for reclamation of soils in the rural areas.
- ② Partial subsidiary for the businesses and farmer
- ③ Development of loan program for the farmers to reclaim the plastic house soils.

## CONTENTS

<b>Chapter 1. Introduction</b> .....	21
<b>Chapter 2. Theoretical background in soil structure development for the plastic house</b> .....	29
Section 1. Introduction .....	29
Section 2. Soil compaction and water balance .....	31
Section 3. Water transport in soils .....	42
<b>Chapter 3. Properties in the plastic house soils</b> .....	47
Section 1. Introduction .....	47
Section 2. Materials and methods .....	48
Section 3. Results and discussion .....	50
<b>Chapter 4. Materials of soil structure improvement and soil physical properties</b> .....	70
Section 1. Introduction .....	70
Section 2. Materials and methods .....	75
Section 3. Results and discussion .....	78

<b>Chapter 5. Construction method and soil structure improvement in the plastic house .....</b>	<b>102</b>
Section 1. Introduction .....	102
Section 2. Materials and Methods .....	105
Section 3. Results and Discussion .....	112
<b>Chapter 6. Designs and methods of soil structures .....</b>	<b>131</b>
Section 1. Introduction .....	131
Section 2. Materials and methods .....	133
Section 3. Results and discussion .....	139
<b>References .....</b>	<b>151</b>

## 목 차

제 1 장 서 언 .....	21
제 2 장 시설재배지 토양 구조개발의 이론적 배경 .....	29
제 1절 서론 .....	29
제 2절 토양내 압밀과 수분수지.....	31
제 3절 토양내 수분 이동 특성.....	42
제 3 장 시설재배지 토양의 특성 .....	47
제 1절 서론 .....	47
제 2절 재료 및 방법 .....	48
제 3절 결과 및 고찰 .....	50
제 4 장 토양 물리성 변화와 토양구조 개선제 .....	70
제 1절 서론.....	70
제 2절 재료 및 방법 .....	75
제 3절 결과 및 고찰.....	78

제 5 장 시설재배지 토양구조 개선 및 시공법 .....	102
제 1절 서론 .....	102
제 2절 재료 및 방법 .....	105
제 3절 결과 및 고찰 .....	112
제 6 장 토양 구조 모델 및 설계 .....	131
제 1절 서론 .....	131
제 2절 재료 및 방법 .....	133
제 3절 결과 및 고찰 .....	139
참 고 문 헌 .....	151

# 장기연작 시설재배지 토양구조 및 수리특성 개선 방법 개발

## 제 1 장 서 언

2000년 기준 우리 나라의 일반 노지 작물과 주요 시설재배작물의 재배 면적은 약 235만 ha로 이중 전용 시설재배지는 약 26만 ha 정도이며 답전(沓田)윤환 형태의 시설재배 농경지를 포함하면 약 32만 ha에 이르고 있다.

그러나 현재의 우리 나라 시설재배는 동일 토양에서 연간 최소 3 ~ 4 회 연작을 하며 매 작기마다 경운, 시비, 농약 사용을 하고 있어 이러한 작부방식에 의해 근권층 내에 과도한 염류가 집적되거나 일반 농지보다 병해 발생이 심하여 농작물 생산량과 품질에 영향을 주어 폐농에 직면하는 농가도 있어 우리 나라의 시설원예가 시급히 해결해야 될 최대의 과제이다.

우리 나라 시설재배지의 토양구조특성 조사 결과를 살펴보면 지역간 일부 차이는 있으나 깊이가 증가됨에 따라 시설재배지의 지표면으로부터 약 20cm 내지 30cm 부근에서 용적밀도가  $1.45 \sim 1.55 \text{ g cm}^{-3}$  이르고 있고 토양 깊이별 이온분포 특성을 전기전도도로 조사한 결과 표층 20cm 이내의 전기전도도는 평균  $3.5 \text{ dS m}^{-1}$  이상으로 작물의 생육을 저해시키는 수준에 달하고 있을 뿐만 아니라 투수성이 양호한 토양에 비하여 병해 발생에 의한 농산물의 수량 감소와 품질저하 현상도 조사되었다.

일반적인 시설재배지에서 염류집적을 일으키는 요인을 살펴보면 첫째, 집약재배에 따른 다비재배와 작물 요구량 이상의 화학비료의 사용, 둘째,

시설재배사내의 고온에 의한 증발량 증대로 염류의 표토 집적, 셋째, 양질의 관개수 확보의 어려움에 따른 오염된 관개수 사용, 넷째, 작부 전환에 따른 빈번한 경운에 의해 특정 깊이 내에 급격한 용적밀도 증가에 따른 투수성의 급격한 저하, 다섯째, 잦은 관개에 의한 표층토내의 점토와 같은 미세한 토양입자나 토양 pH 보정을 위하여 사용된 과도한 석회화 심토층으로 이동 또는 집적되어 공극특성에 영향을 주어 토양수와 용존물질의 수직 이동에 영향 등이 주요인으로 작용하는 것으로 보고되었다.

현재까지 국내외에서 연구되거나 활용되고 있는 제염법은 ① Ca 이온을 함유하는 토양개량제의 사용에 의한 치환용탈, ② 유기물을 사용하여 토양 물리성을 개선을 통한 용탈 세척, ③ 압거 및 명거 배수 등이 있으며 ①번의 경우 현 국내 시설재배지에 적용할 경우 심층토 토양구조 특성 등의 요인에 의해 공극특성과 투수성 등의 토양물리성을 더 악화시켜 제염의 효과를 기대하기 어렵다. ②번의 경우 유기물 사용을 통하여 토양의 입단화에 따른 토양의 물리성 개선을 들 수 있으나 현재 국내 시설재배지 토양의 경우 표층(A층)내의 과다한 유기물은 수분보유력을 증가시켜 염류이온의 표층 체류 시간을 연장시킨다. 따라서 일반적으로 알려진 유기물 사용에 의한 토양 입단화의 효과보다는 CEC 증가 등에 따른 영향이 클 것으로 추정되며 또한 압밀 현상 등에 형성된 심층토의 개선이 없이는 실제 유기물 사용에 따른 제염 효과는 기대하기 어려울 것으로 판단된다. 한편 ③번의 명거배수의 경우 과량의 양질의 관개수를 사용하여야 하나 현 우리나라의 시설재배지의 특성상 어렵고 압거배수의 또한 관리와 기계경운과 설치비용에 문제점이 있다.

예로, 토성별 용적밀도변화에 따른 투수계수 및 염소와 질산태 이온의 상대용출속도 연구결과를 살펴보면 Silt Loam과 Clay Loam 모두 용적밀도가  $1.2\text{g cm}^{-3}$ 에서  $1.5\text{g cm}^{-3}$ 로 증가함에 따라 투수계수는 1/10 이하로 급격

히 감소하며 염소와 질산태 질소를 이용하여 상대용출농도가 1에 도달하는 데 걸리는 시간 또한 용적밀도가  $1.2 \text{ g cm}^{-3}$  에서  $1.5 \text{ g cm}^{-3}$ 로 증가함에 따라 15배 이상 소요되어 염류 집적토에서 관수를 통하여 제염시키고자 할 때 제염효과를 기대하기가 어렵다.

표 1-1. 토성별 용적밀도변화에 따른 투수계수 및 염소와 질산태 이온의 상대용출속도

구 분	Silt Loam		Clay Loam		비고
용적밀도( $\text{g cm}^{-3}$ )	1.2	1.45	1.2	1.45	
투수계수( $\text{cm day}^{-1}$ )	2.2	0.2	1.6	0.1	
상대용출속도(hr)	17	213	42	612	Cl, $\text{NO}_3^-$

한편 정이  $1.2 \text{ g cm}^{-3}$ 과  $1.5 \text{ g cm}^{-3}$ 의 용적밀도로 만들어진 15cm와 5cm의 두개 칼럼을 동시에 연결하여 투수계수, 상대용출속도 그리고 칼럼 내 이온분포변화를 전기전도도로 조사한 결과 상기 결과와 유사한 결과를 얻었으며 전기전도도 측정결과도 칼럼의 Interface인 15cm 부근에서 가장 높은 전기전도도가 측정되었다. 한편 토양입자의 분포조사 결과도 interface 부근에서 약 0.7%의 점토가 증가된 것으로 나타났다. 따라서 시설재배지 내 토양내 용적밀도 변화는 년 중 평균 3번 이상의 기계에 의한 토양 정지 작업에 의해 경운에 의해 파쇄되는 표층 15내지 20cm 아래에 위치하는 심토층내에 다져짐 현상과 잦은 관수에 의한 표층내의 점토와 같은 미세한 토양입자가 심토층내에 집적하게 되어 토양수와 용존물질의 수직이동에 영향을 주어 이러한 염류장해를 발생시키는 염류이온의 집적에 직접적인 원인으로 작용한다.

한편 지표면으로부터 약 20내지 30cm 깊이에 용적밀도가  $1.45 \text{ g cm}^{-3}$  정



도의 경반층 형성 요인으로 경운을 들 수 있다. 이는 Falsey(USDA)의 결과 처럼 Loamy Sand 토양에 가해지는 압력이  $1\text{kg cm}^{-2}$ 에서  $2\text{kg cm}^{-2}$ 로 증가함에 따라 Infiltration rate는  $0.1\text{cm hr}^{-1}$ 에서  $0.01\text{cm hr}^{-1}$ 로 약 1/10정도로 감소됨을 알 수 있다. 따라서 집약적 다작 경운이 실시되고 있는 우리의 시설재배지의 경우 심층토내에 기계적 다져짐 현상이 발생할 가능성이 클 뿐만 아니라 직접 경운에 의해 이러한 다져짐층을 파쇄하여 물리성을 개선시키는 것은 어려울 것으로 판단된다. 따라서 이러한 다져짐층을 파쇄하거나 기계적 경운에 의해서도 다져짐층이 형성되지 않는 토양 관리 기법이 필요할 것으로 판단된다.

상기 정(미발표자료)의 조사에 따르면 일반적으로 과다한 염류가 집적되는 것으로 추정되는 시설재배지 토양의 경우 과다한 양의 유기물(5% 이상)이 표층토에 함유되어 양이온치환용량과 수분보유력을 증가시키나 상대적 수분의 하향이동을 감소시켜 표층뿐만 아니라 표층과 심층의 접면에 염류집적에도 간접적 영향을 미치며 경기도 하남 상추 시설재배지 토양을 대상으로 하여 조사한 결과 온도가 높아지고 수분이 과다한 시점에서 사상균과 세균의 증식이 급격히 증가되는 것으로 조사되었다. 따라서 시설재배지에 있어서 유기물 함량과 이에 따른 토양 관리 기법도 필요한 것으로 판단된다.

그러므로 시설재배지의 있어서 염류집적 방지뿐만 아니라 작물에 병해를 저감시키는 적정 토양수분관리 방식이 도입되어야 할 것으로 판단한다. 따라서 현행 적용되고 있는 염류 장해 개선 방식의 효율성을 높이기 위해서는 상기에서 살펴본 요인을 고려한 제염법이 개발되어야 할 것으로 판단된다.

일반적으로 작물의 염류장해에 의한 피해는 전기전도도가 약  $2\text{ dS m}^{-1}$  이하일 경우 피해가 없다고 하며,  $2\text{ dS m}^{-1} \sim 4\text{ dS m}^{-1}$ 의 범위에서는 약

10% 정도, 4 dS m<sup>-1</sup> ~ 6 dS m<sup>-1</sup>의 범위에서는 약 25% 정도 6 dS m<sup>-1</sup> ~ 8 dS m<sup>-1</sup>의 범위에서는 50% 이상의 수량이 감소되는 것으로 보고되었다(US Salinity Lab, 1997). 따라서 이를 기준하여 1997년 농촌진흥청이 발표한 표준소득 대비 수확감소량을 금액으로 환산하여 보면 아래 표와 같다.

표 1-2. 대표적 시설재배 작목 생산량 및 표준 소득  
(기준 : 년 1기작/10a, 97년 농촌 진흥청 조사 자료)

작목	수량 (kg)	단가 (원)	금액 (천원)	염류 피해 정도(천원)		
				10%	25%	50%
오이	10,185	1,060	10,796	1,079	2,699	5,398
딸기	2,701	2,621	7,079	708	2.7	5.4
상추	3,302	840	2,774	277	1.8	3.5
참외	2,856	1,598	4,564	456	0.7	1.4
들깨잎	3,816	2,851	10,879	1,088	1.1	2.3

상기 표에서 보는 바와 같이 오이의 경우 염류장애에 의해 10% 수확감소시 약 100만원 정도의 농가 수입 감소가 예상된다. 또한 10a 기준 상기 수확을 얻기 위한 경상비는 오이의 경우 약 54만원 정도 소요되며 10% 수확 감소를 기준시 약 6만원 경상비 손실이 예상되며 현재 시설재배지는 이보다 많은 경상비가 소요되는 것으로 판단된다.

표 1-3. 10a 기준 시설재배지의 경상비  
(97년 농촌 진흥청 조사 자료, 단위: 원)

품종	무기질비료비	유기질비료비	농약비	계	10% 손실시
들깨잎	43,260	180,441	48,229	271,930	27,193
상추	31,557	101,793	14,658	148,008	14,801
참외	60,997	131,412	49,082	241,491	24,149
오이	140,716	278,644	122,960	542,320	54,232
딸기	66,626	186,753	50,004	303,383	30,338

상기의 자료를 근거로 하여 시설재배지의 전기전도도가  $2 \text{ dS m}^{-1} \sim 4 \text{ dS m}^{-1}$ 의 범위로 약 10% 정도의 수확 감소를 추정하면 수확감소비용과 경상비 손실 비용을 합산하면 오이의 경우 10a당 약 106만원 정도의 손실이 추정되며 년 3모작 기준시 약 318만원 정도의 손실이 예상된다. 한편 시설재배 농민들은 이러한 염류장해와 복합적으로 발생하는 병해 방지를 위하여 다량의 농약을 사용하고 있어 작물의 안정성 또한 우려될 뿐만 아니라 인접 국가인 대일 농산물 수출에도 작물의 품질 저하와 위해성 문제 등으로 인하여 어려움을 주고 있는 실정이다.

한편 과다한 비료와 농약 등의 사용에 따른 지하수 및 지표수의 주요 오염원으로 작용하고 있어 이에 대한 환경 문제를 해결하는데 과다한 비용이 지출될 것으로 예상되며 특히 지하수를 음용수원으로 사용하고 있는 농촌 지역에서 안전한 음용수원을 확보하는 데에도 문제점으로 지적되고 있다. 따라서 현재 시설재배지의 문제점을 떠난 간접 영향을 해결하는데 소요되는 비용을 줄일 수도 있다.

이외에도 자동 토양수분 측정과 이의 측정 결과에 따른 자동 관개 조절 시스템을 활용함으로써 적정량의 토양수분 유지와 과다 관수에 따른 지표층 토양 유실 등에 따른 주변 환경오염을 저감시킬 뿐만 아니라 본 토양 개선 구조하에서는 용탈된 수분을 재활용할 수 있어 앞으로 농업용수 고갈 등에 따른 농업용수 확보 계획 등에 활용할 수 있을 것으로 판단한다.

현 시설재배지 농가에서 관행적으로 행해지고 있는 농업은 다량의 유·무기 비료가 사용될 뿐만 아니라 다량의 농약도 병행하여 사용되고 있는 실정이다. 따라서 본 기술이 개발되어 현 우리 농업에 적용될 경우 1) 저비료 및 저농약 사용에 따른 토양 및 지하수 오염 감소에 따른 환경 농업화, 2) 안전 농산물 생산에 따른 국민 건강 증진, 3) 농가 수입 증대와 농가수입 향상에 따른 농업 종사 인구 확대, 4) 과학 영농화 등 다양한 파급

효과가 있을 것으로 판단된다.

현재까지 국내외에서 연구되거나 활용되고 있는 제염기술은 ① 토양개량제처리 (유기물, 석회, Zeolite, 생짚 등), ② 관개법 (환수, 암거와 명거 배수 등), ③ 시비관리에 따른 식물 내염성 증대, ④ 내염성 작물 육종 등이 있다.

국내외 연구동향은 염류장해지 토양특성조사, 토양 구조 개선, 토양내 뿌리 분포와 염류 특성, 담수 제염, 토양개량제 처리, 관개법 전환, 시비 관리, TDR 개발 시도 (농과원) 등이 있으며 국외의 연구현황은 토양수분 특성별 물질이동 특성, 관개수질과 Leaching Requirement, 토양개량제 처리, 관개법 전환, 시비관리, 내염성 품종 개발, 고농도 염수처리 등이 있다. 이들 연구 동향을 비교해 보면 염류 발생 특성, 토양특성, 기후, 재배 작목 및 관리 방법에 차이가 있어 국내외 모두 범용할 수 있는 적용 기술 개발 사례 미비하며 일회 처리에 의한 장기간 효과 여부 의문시되며 명거 및 암거배수의 경우 설치 비용과 관리상 문제점이 지적되고 있다.

따라서 본 연구개발은 국내 시설재배지의 최대 문제점인 염류장해 문제를 해결하기 위하여 토양내 수분의 선택적이동 이론을 적용하여 효과적이며 장기간 별도의 관리 방법이 요구되지 않는 장기 연작 시설재배지 토양 구조 개발과 작물의 수분요구도에 따른 적정 토양수분 관리방법을 개발하여 시설재배지 염류장해와 병충해저감 및 과학적 시설재배지 관리에 의한 환경친화형 농업화를 목적으로 한다.

표 1-4. 연차별 연구개발 내용 및 범위

구분	연구 목표	연구개발 내용 및 범위
1 차 년 도	토양 구조 모형 개발	1. 자료 수집 연작지 문제점, 기존 연작지 구조개선 사례, 토양수분관리 사례 2. 토양구조 개선소재 개발 시험 ①소재별 입경크기, Shear Strength, 압밀성, ②부피변화(Shrinkage factor)와 파쇄성, ③수분보유력 측정 3. 토양과 개발 토양구조개선재의 혼합비율/압력/토양수분별 ① 물리성 변화 - 압밀성, 소성, 액성, 통기성, 비열, 열전도율 ② 화학성 변화 - pH, EC, CEC 등 ③ 관개 수량/깊이별 토층변화, 토양입자이동/집적, 투수계수 ④ 용출수 변화 특성 토양수리 특성변화, 적정 토양구조 모형 및 생육시험 ①시설재배지 토양특성과 유효수분을 ②관개방법별 토양구조 변화 양상 ③토양구조개선 방법별 토양수분변화 특성
2 차 년 도	모형 적용 및 관리 방법 개발	1. 현장적용 시험 및 기본모형완성 토양개선구조 선정 및 관리 방법 확립 ① 토양 구조 모형 시공(단층/다층) ② 모형별 물리성/화학성 등 조사 ③ 모형별 작물 생육 시험 ④ 용출수 회수 방법 및 수질 측정 토양개선구조별 적정 관배수 기준설정 ① 장기연작지 토성별 Leaching Requirement 구명 ② 시설재배지 작물별/개선 토양구조별 적정 관배수 기준

## 제 2 장 시설재배지 토양 구조개발의 이론적 배경

### 제 1절 서 론

토양의 물리적 특성은 화학적 특성이나 생물학적 특성과 마찬가지로 토양의 생성, 분류 등 토양의 생성학적 측면뿐만 아니라 작물생산의 기반으로 토양용도 측면에서도 중요한 위치를 차지하고 있다. 이러한 결과로 토양의 물리성은 생태계내의 토양의 기능과 관리 방법에도 영향을 미치어 농업적 또는 공학적 개념에서의 용도는 토양의 물리적 특성과 밀접한 연관을 가지고 있다. 또한 토양계에서의 수분과 물질의 이동 그리고 다양한 식물체의 발현과 성장은 토양의 물리적 특성과 밀접한 관계를 가지고 있다.

토양내 토양입자의 배열이 용적밀도에도 영향을 미친다. 그림 (가)에서 보여주는 바와 같이 정렬 배열의 경우 토양입자는 전체 용적 부피의 약 52% 이하를 차지하나 (나)와 같이 혼합입자 교호배열은 최고 72% 정도의 부피를 차지한다.

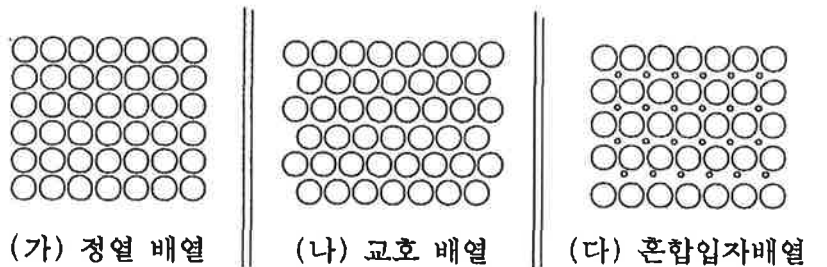


그림 2-1. 토양내 입자 배열 상태의 모형

따라서 (가)나 (나)와 같이 단일 입경으로 구성된 토양의 용적밀도는 낮아지며 반면 다양한 크기의 입경으로 구성된 토양의 용적밀도는 높다.

예를 들면 입자밀도를  $2.65 \text{ g cm}^{-3}$ 로 가정하고 52%가 고�형 토양입자로 구성된 토양의 용적밀도는  $1.38 \text{ g cm}^{-3}$  ( $0.52 * 2.65 \text{ g cm}^{-3}$ ) 이고 72%일 경우  $1.99 \text{ g cm}^{-3}$  ( $0.72 * 2.65 \text{ g cm}^{-3}$ )로 증가된다.

그리고 서로 다른 크기를 가진 입자 배열 상태에 토양내 공극은 각각의 크기를 달리하게 되며 표 2-1과 같이 분류하며 기능을 물질전달 또는 저장 기능의 역할을 한다.

표 2-1. 공극분류에 따른 공극크기 및 기능

공극분류	공극크기 (nm)	기능
대공극 Macropore	>50	물질전달 통로 포화 후 배수 포화시 통기 통로 호기성 작물 근권 형성 양호
중공극 mesopore	50-0.2	식물가용수분 저장역할
미세공극 micropore	<0.2	식물생육에 이용되지 않는 수분보유 높은 매트릭포텐셜(10 bar 이상)

Shiozawa와 Campbell(1991)에 제시한 Cumulative size distribution function의 기본 이론은 토양은 두 개의 기능으로 구성되어 있으며 첫번째 기능은 2 내지 2000 mm의 기초광물( $F_1$ )에 의한 것이고 두번째는 2차광물( $F_2$ ) 즉 점토광물에 의한 것으로 직경이 0.01 내지 2 mm 사이의 입자에 의한 것이라 정의하였다. 그리고 2mm 이상 크기의 입자를  $F_2 = 1$ 이라 정의하면 기초광물( $F_1$ )에 대한 Cumulative distribution function은 공식 1과 같이 표현된다.

여기서  $d_1$  (기초광물의 평균 입자 직경),  $n$ 을 입자의 균질도라고 정의

하고  $n$ 이 크면 입자간의 범위는 작다고 판단되었을 경우의 입자직경( $d$ )는 공식 2-1, 2와 같이 표현된다.

$$R = \frac{1}{1 + \left(\frac{d}{d_1}\right)^n} \quad (2-1)$$

$$F(d) = \varepsilon + \frac{1 - \varepsilon}{1 + \left(\frac{d}{d_1}\right)^n} \quad (2-2)$$

따라서 특정 지점의 평균 시료 입자반경은 공식 3과 같이 표현되며 이에 따라 토양내 특정 깊이의 공극을 추정할 수 있다.

$$d_g = \exp[-1.96\varepsilon + (1 - \varepsilon) \ln(d_1)] \quad (2-3)$$

## 제 2절 토양의 압밀과 수분 수지

일반적으로 시설재배지의 경우 트랙터와 같은 하중이 큰 장비를 이용하여 농지를 경운하는 것이 보편화되어 있다. 이때 경운의 깊이는 장치된 plow의 형태와 출력, PTO, 작업기계의 타이어 특성 등에 의해 차이가 있기는 하나 대부분의 경우 표층 20cm 이내인 것으로 조사되었다 (그림 2-2). 그리고 장치의 하중은 전단 수직으로 작용하여 작토 파쇄층 이하로 가해져 심층부의 토양의 용적밀도는 증가하며 그림 2-3(우)와 같이 토양압밀의 현상을 육안으로 확인할 수 있다.

예를 들면 1톤 트럭은 토양에 약 50 psi 압력을 주게 되며 트랙터나 일반 농작업 기계는 70 to 90 psi, 그리고 농작업 기계가 약 300 kg 정도의 물건을 운반시 부수적인 하중 40 psi를 토양에 더하게 된다.



그리고 2중 타이어는 단일 타이어보다 토양에 가하는 하중은 감소시키나 영향을 받은 범위는 2배 이상으로 증가하게 된다. 한편 토양은 최소 4 psi 정도의 하중을 주어도 압밀이 발생하며 타이어의 압력 상태는 토양압밀을 완화시키는데 영향을 미치지 못한다.

그리고 고무타이어를 장착한 200마력 정도의 트랙터는 평균 약 6 psi 정도의 하중을 토양에 가하여 일반 토양에서 1차 주행에 의한 토양압밀이 발생하지 않는 최소 4psi를 초과하여 비경제적이며 일반적으로 4psi 하중 이하의 압력은 2차 주행시부터 토양에 압밀이 발생한다.

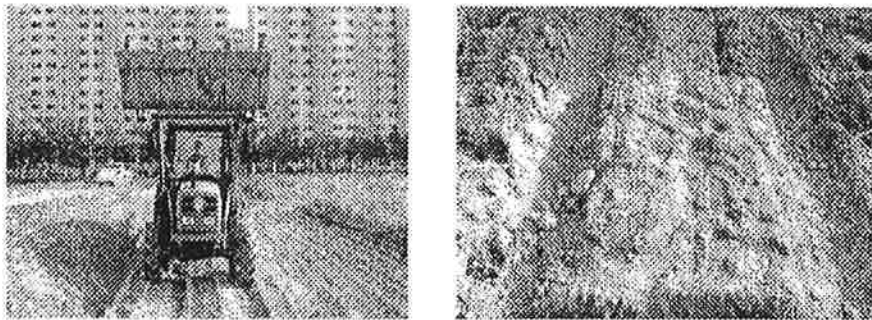


그림 2-2. 노지에 트랙터를 이용한 경운과 토양압밀

기계적 경운시 그림 2-3에서 보여주는 것처럼 바퀴의 이동방향의 후면에 토양의 변형이 발생하게 되며 경운에 의한 토양입자의 이동은 축을 중심으로 반대방향으로 이동하게 된다.

그리고 하중에 전달 방향은 전단축 수직선으로부터 각도  $\alpha$ 로 퍼지게 되며 범위는 R의 형태로 발전하게 된다. 그러나 장착된 타이어의 숫자 등에 의해 영향권의 범위나 압밀의 특성 또한 달라지게 된다.

그리고 하중의 전달거리는 토양의 특성에 의해서도 달라지는데 일반적

으로 단단하나 토양의 경우 하중의 전달범위가 가장 낮으며 토양의 수분 보유량이 많으면 많을수록 하중전달의 범위가 증가하게 된다.

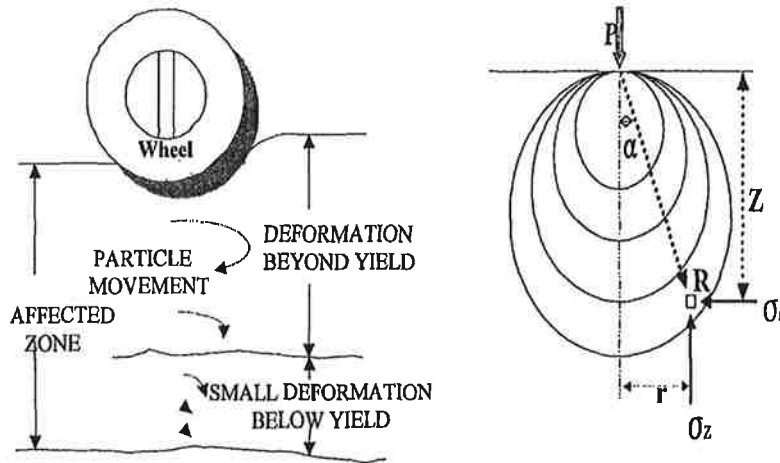


그림 2-3. 하중에 의한 토양입자 이동과 토양변형 영향권

즉 하중의 전달 범위가 넓으면 넓을수록 토양의 압밀의 범위가 증가한다는 것을 알 수 있다 (그림 2-4). 여기에 적용된 타이어의 크기는 11-28 인치이며 하중은 420kg 그리고 타이어의 압력은 12 psi이다.

이러한 특성을 지닌 타이어가 토양수분이 없는 토양을 주행시 영향범위는 약 16인치이며 용적밀도가 1.15 내지 1.25 g cm<sup>-3</sup>의 경우 영향범위는 약 20인치에 이르며 한편 포화에 가까운 토양조건하에서는 약 23인치까지 압밀의 영향을 미치게 된다.

그러나 이러한 압밀현상은 주행회수나 바퀴의 숫자에 의해서도 많은 차이를 보이게 된다. 그리고 토양내 수분 조건은 압밀과 직접적인 관계를 가지는데 이는 계절적 차이에 의해서 또한 변하게 된다.

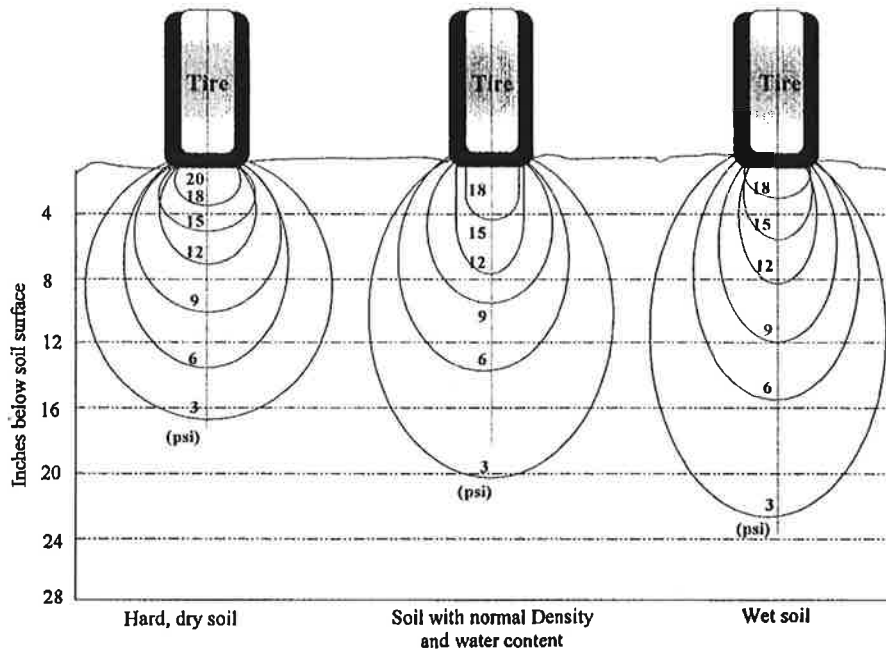


그림 2-4. 토양수분특성에 따른 하중 전달 범위 모식도

그림 2-5에서는 Tschebotarioff(1973)가 실시한 Crawler 트랙터를 이용한 수직적 하중 전달 모식도로서 하중에 의한 압밀의 분산 각도가 30° 일 때 트랙터 바퀴의 진행횟수에 따른 하중의 전달범위와 수평적 거리 확대를 나타낸 그림이다. 그림에서 보여주는 바와 같이 바퀴의 진행횟수가 1에서 7회로 증가함에 따라 지표면상의 상대적 압밀의 범위도 증폭되면서 압밀은 종적으로 1에서 7의 범위로 증가하게 되며 압밀 즉 용적밀도도 바퀴의 진행회수 만큼 증가됨을 알 수 있다.

그러나 이러한 가중 압밀은 표 2-4에서 살펴본 바와 같이 토양의 수분 상태와 토양을 구성하는 삼상요소와 타이어의 넓이, 하중, 압력 등에 의해 많은 차이를 보이게 된다. 특히 증폭되는 바퀴의 증폭 면적에 의한 특

정 압밀에 의해 토양내 압밀에 의한 용적밀도의 차이는 다양하게 분포되어 토양내에서 이동하는 수리전도도나 수분 보유력 등에 차이를 주게 된다.

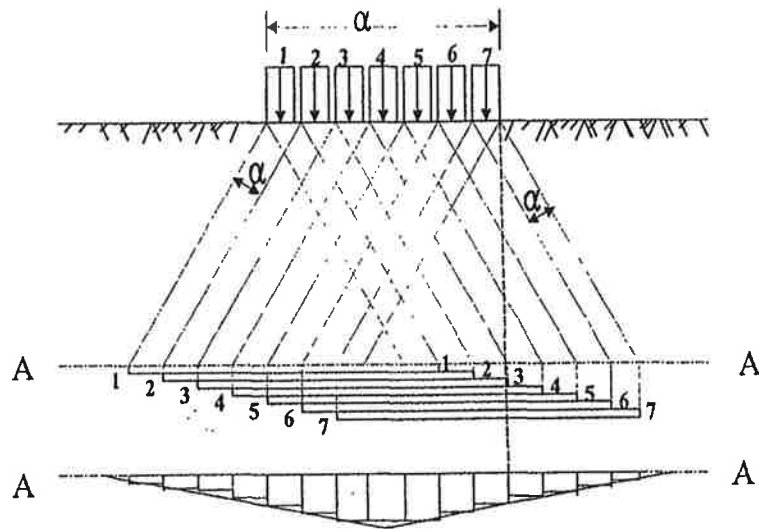


그림 2-5. Crawler 트랙터를 이용한 수직적 하중 전달 모식도 ( $\alpha = 30^\circ$ )

이렇게 트랙터의 하중이 가해짐에 따라 토양의 입자 배열구조는 변한다 (그림 2-6). 트랙터의 하중이 가해지기전 토양 입자의 배열구조는 느슨한 상태로 존재하다가 초기 트랙터의 하중이 가해지게 되며 파쇄층이하의 토양의 구조는 약 30% 정도가 감소하게 되고 다시 하중이 가해짐에 따라서 공극의 20%가 더 감소하게 된다. 즉 공극의 감소는 용적밀도의 증가로 이어지게 되고 각각의 공극은 초기의 Macro 상태에서 더 이상의 하중이 가해지더라도 변형이 생기지 않는 crypto의 상태의 불투수층의 형태로 변하게 되어 수분의 수직하향 이동을 막는 직접적인 원인이 된다.

그리고 이러한 용적밀도 변화에 따른 수분의 변화 특성을 살펴보면 용

적밀도가 증가함에 따라 부피수분보유력은 급격히 감소하고 반대로 Matric Potential은 증가하게 되어 상대적 수분의 이동은 급격히 감소하는 경향을 보이게 된다.

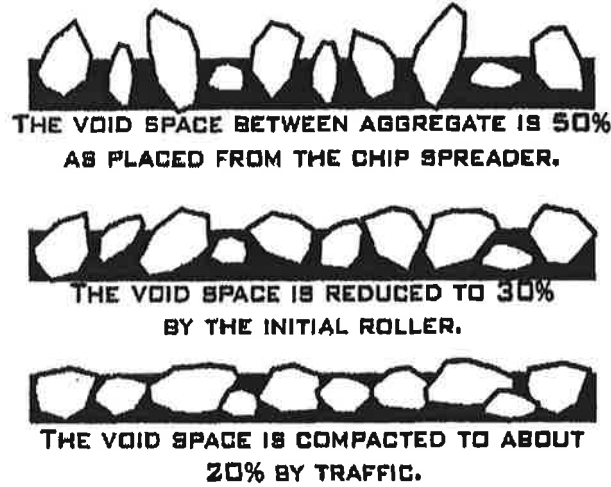


그림 2-6. 트랙터 하중에 따른 토양의 공극변화 특성

따라서 공식 2-4에 유도된 용적밀도 변화에 따른 수리전도도 변화 중 총공극( $f$ )이 실질적으로 감소함에 따라 수리전도도 또한 감소함을 알 수 있다.

$$K_s = \frac{2.5 \times 10^{-4}}{\phi^2} = 10^{-5} d_s \left[ 2 \left( 1 - \frac{A}{\rho_s} \right) \right]^m = 10^{-5} d_s (2f)^m \quad (2-4)$$

이상에서 살펴 본 바와 같이 대부분의 토양은 하중을 받으면 체적의 변화가 일어나게 되는데 토체의 체적 감소는 토양 입자 사이의 공극을 차지하고 있는 공기가 압축되거나 또는 공극속에서 유동성인 물이 빠져나가면 토양압축이 발생한다. 이때 토양 압축속도는 공극내 수분이탈 속도와 밀접

한 관계를 가지게 되며 이런 토양의 부피의 감소현상을 토양압밀이라고 한다.

토양이 외부하중을 받아 발생하는 압축량은 과잉 공극수압이 소산되어 발생하는 압밀량과 과잉공극수압이 완전히 소산된 후 발생하는 2차 압축량의 두 가지로 나누어진다. 전자는 Terzaghi의 압밀이론에 따르며 1차 압밀이라 하고, 후자는 2차 압축이라고 한다.

이러한 토양내 하중 변화에 따른 토양의 물리적 특성 변화 즉 체적변화를 Yoshikuni(1994)가 기존의 점성토의 압밀, 압축에 관한 연구들을 정리하여 비선형 탄점성 액체모델(Non linear elasto-viscous liquid model)을 제안하였다. 압밀방정식의 기본형태는 다음과 같다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right)_D + \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right)_Z + \left( \frac{\partial u}{\partial t} \right)_R \quad (2-5)$$

공식(2-5)의 오른쪽 첫째항은 배수의 향으로서 배수시 (-)의 값을 가지며, 두번째 항은 하중의 향으로 하중이 증가할 때마다 (+)의 값을 나타낸다. 그리고 세번째항은 유효응력 완화의 향으로서 항상(+)의 값을 나타낸다. 즉, 첫째항은 간극수압의 소산속도를 지배하고 두번째와 세번째항은 간극수압의 유발속도를 지배한다는 것이다. 다시 말해서, 위에서 표현된 공식은 압밀과정에서 나타나는 시간에 따른 간극수압의 변화는 하중증가와 유효응력완화에 의해 간극수압이 유발되고 배수에 의해 소산되는 복합적인 과정이라는 의미를 갖고 있다.

Rheology model은 그림 2-7과 같은 형태로 나타낼 수 있다. 이 모델은 공식(2)와 같은 방정식으로 표현된다.

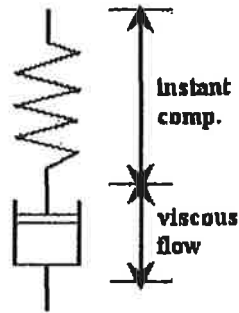


그림 2-7. Elasto-viscous liquid 모델

$$-\frac{de}{dt} = m_v(\sigma') \frac{d\sigma'}{dt} + \frac{\sigma'}{\eta(\sigma, \sigma')} \quad (2-8)$$

여기서,  $e$ 는 간극비이고,  $s'$ 는 유효응력,  $m_v$ 는 압축계수이다. 그리고  $h$ 는 흙골격의 점성계수이다. 이들은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$m_v(\sigma') = -\frac{de}{d\sigma'} \quad (2-9)$$

$$\sigma' = \eta(\sigma, \sigma') \left[ -\frac{de}{dt} \right]_{\sigma' = \text{const.}} \quad (2-10)$$

이를 보완하기 위하여 변수를 변환하면 다음과 같다.

$$T = \log t \quad (2-11)$$

$$\Sigma' = \log \sigma' \quad (2-12)$$

$$\dot{E} = \log \left( -\frac{de}{dt} \right) \quad (2-13)$$

$$H = \log \eta \quad (2-14)$$

Yoshikuni는 이 공식을 실제 토양에 적용하기 위하여 모든 크립션들은 e-T 평면에서 Ca의 기울기를 갖고 각각 서로 평행한 직선군이며 일정크립속도선들은 e-S' 평면에서 Cb의 기울기를 갖고 각각 서로 평행한 직선군을 형성한다고 가정하였다 (그림 2-8).

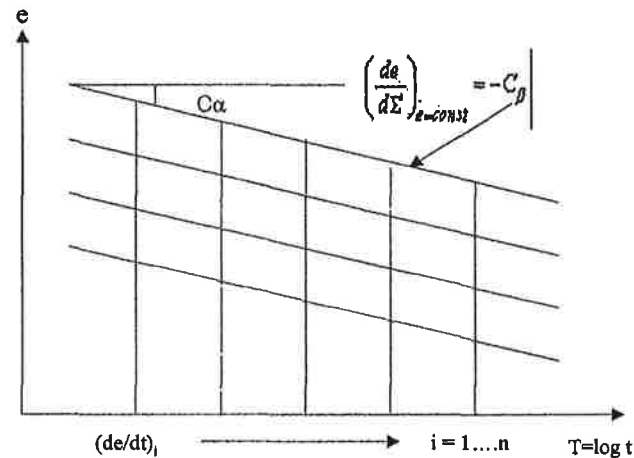


그림 2-8. e-log t 좌표상에서의 creep line의 선형 모형

공극수의 흐름은 Darcy의 법칙을 따르며, 투수계수는 간극비만의 함수이고 압밀방정식을 또한 위의 가정 이외에 다음과 같은 3가지의 조건들을 전제로 하였다.

- [조건1] 간극은 물로 완전히 포화되어 있다.
- [조건2] 변형과 간극수의 흐름은 1차원적으로 발생한다.
- [조건3] 변형은 미소하게 발생한다.

또한 압밀방정식을 다음과 같은 수학기공식을 필요로 한다.

Darcy의 법칙 : 
$$v = -ki = -\frac{k}{\gamma_w} \frac{\partial u}{\partial z} \quad (2-15)$$



$$\text{연속방정식} \quad : \quad \frac{\partial x}{\partial t} = \frac{\partial v}{\partial z} \quad (2-16)$$

$$\text{평형방정식} \quad : \quad \frac{\partial \sigma}{\partial z} = \gamma' \quad (2-17)$$

이상의 공식을 이용하여 다음과 같은 압밀방정식을 구할 수 있다.

$$\frac{\partial u}{\partial t} = \frac{(1+e_0)}{\gamma_w m_v(\sigma')} \frac{\partial}{\partial z} \left( k(e) \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{dp}{dt} + \frac{\gamma' z + p - u}{m_v(\sigma') r'(\sigma, \sigma')} \quad (2-18)$$

그리고 압밀에 따른 공극비, 포화도, 함수비의 계산은 공극비는 압밀 시험을 시작전과 압밀 시험이 끝난 후의 계산한다. 함수비는 압밀 시험이 끝난 후에, 포화도는 압밀시험 시작전과 끝났을 때에 계산한다. 공극비  $e$  의 계산은 압밀시험 시작전의 초기공극비  $e_0$ 는 다음 식으로 계산한다.

$$e_0 = \{ (\gamma_w G_s A h_0 / w_1) \times [(100 + w_0) / 100] \} - 1 \quad (2-19)$$

여기서,  $G_s$ 는 토양 입자의 비중,  $A$ 는 시료의 단면적 (cm<sup>2</sup>),  $r_v$ 는 시료의 단위중량 (gf/cm<sup>3</sup>),  $w_1$ 은 시료의 무게(gf)로 압밀전(공시체 + 압밀링)의 무게 - 압밀링의 무게(gf),  $w_0$ 는 압밀 시작전 토양의 함수비(%)이며  $h_0$ 는 시료의 초기 높이(cm)를 의미한다. 따라서 각 재하 하중에 의한 공극비의 감소량은  $\Delta e / \Delta h = (1 + e_0) / h_0$ 이므로 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\Delta e = [(1 + e_0) / h_0] \Delta h \quad (2-20)$$

압밀이 끝났을 때의 함수비  $w_r$ 는 2-21과 같이 표기되며 여기서,  $w_2$ 는

압밀이 끝난 후의 시료의 무게 [gf]이며  $W_3$ 는  $w_2$ 의 시료를 건조시킨 후의 무게 [gf]이다.

$$w_f = (W_2 - W_3) / W_3 \times 100(\%) \quad (2-21)$$

한편 포화도  $S$ 는 압밀이 시작되기 전의 포화도  $S_{ro}$ (2-12)와 끝난 후의 포화도  $S_{rf}$ (2-13)의 두가지를 계산한다. 여기서  $S_{ro}$ 는 초기 포화도를 나타내고  $S_{rf}$ 는 압밀이 끝난 후의 포화도를 나타낸다.

$$S_{ro} = (wG_s) / e_0 [\%] \quad (2-22)$$

$$S_{rf} = (wG_s) / e_f [\%] \quad (2-23)$$

압밀 하중  $P$ 와 공극비  $e$ 의 관계를 나타내기 위하여 세로축에 공극비  $e$ , 가로축에 압밀하중  $P$ 를 반대수 용지에 그래프를 그리면  $e - \log P$ 곡선이 되고 이 곡선의 처음 부분은 기울기가 완만하게 나타나지만, 어느 하중 이상이 되면 갑자기 급해져서 거의 직선상을 보이는데 그 경계가 되는 하중을 선행압밀하중이라고 하며 그 크기는 그 토양의 응력 경로에 의존한다.

한편 체적변화계수(Coefficient of Volume Change,  $m_v$ )는 유효 응력의 증가에 대한 체적 변화율로 정의되며, 그 단위는 압력의 역수이다. 이것을 식으로 표시하면 공식 2-24와 같다.

$$m_v = 1 / (1 + e_1) \times [(e_1 - e_2) / \sigma_2 - \sigma_1] = a / (1 + e_1) \quad (2-24)$$

여기서,  $a_v$ 를 압축계수라고 하며  $-\Delta e / \Delta p$ 로 나타낸다. 어떤 토양에 대한  $m_v$ 의 값은 일정한 값이 아니며, 그 값은 계산하고자 하는 압력의 범위에 따라 달라진다.

그리고 각각의 압밀 특성별 수리전도도는 하중단계마다 압밀계수  $C_v$ , 압축계수  $a_v$ 를 이용하여 계산할 수 있다.

$$k = (a_v \cdot C_v \cdot \gamma_w) / (1+e) \text{ cm/sec} \quad (2-25)$$

### 제 3절 토양내 수분 이동 특성

현재까지 토양물리특성과 관련한 수리특성에 대한 많은 연구가 행해졌으나 아직까지 확실한 해답을 얻지 못하고 있다. 일반적으로 토성과 토양 구조가 토양내 수분이동에 많은 영향을 미치고 있다고 한다.

일반적으로 토양수분계는 토양입자와 수분사이에 열역학적 평형상태에 있으며 이러한 평형상태에서는 수분의 이동은 일어나지 않으나 서로 다른 위치에 존재하는 수분사이에 상이한 potentials이 존재할 때, 즉 포텐셜의 차이가 발생하기 시작할 때 수분의 이동은 시작되는데 일반적인 토양내 부피수분함량과 Matric Potential은 그림 2-9와 같다.

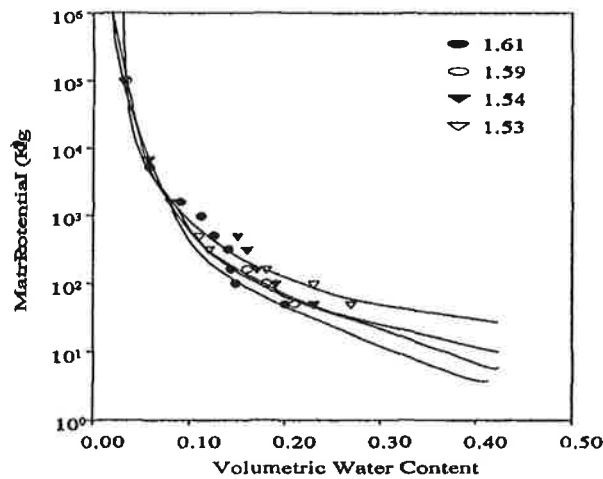


그림 2-9. 용적밀도별 부피수분함량과 Matric Potential의 변화 곡선

일반적으로 토양내에서 발견될 수 있는 물질과 에너지사이의 관계는 표 2-2, 3, 4와 같이 수분, 용질(영양원소)과 열의 관계로 구분되며 각각의 상태는 이동간의 정적과 간헐적 관계의 2가지 형태로 구분하여 나타낼 수 있다. 이때 적용되는 수학적 모형 공식은 Darcy와 Fick의 법칙이 이용된다.

표 2-2. 토양내 수분의 이동 상태와 이의 수학적 표현 모형

Matter/Energy	State
General Water Transport	[Content] $w=M_w/M_s, q=V_w/V_t, q=r_b w/r_w, q_s=1-r_b/r_s$ [Potential] $f=f_m+f_o+f_p+f_g$ (평형 상태에서는 $f$ 는 상수) $f_g=gz, f_o=-CRT, f_p=r_w P, f_m=f_o(q/q_s)^{-b}$ $\phi = \sqrt{\frac{\rho}{\rho_s} \left[ 2 \left( 1 - \frac{\rho}{\rho_s} \right) \right]}$ 평형포텐셜은 J/kg, kPa, cm H <sub>2</sub> O, 공극직경, rh, F, P로 표현
Steady State Water Transport	[Darcy law] [Saturated] $q=K_s df/dz, \Psi = \Psi_p + \Psi_g$ $K_s=10^{-5} d_g [2(1-\rho_b/\rho_s)]^{2b+3}$ [Unsaturated] $q=K df/dz, \Psi = \Psi_m + \Psi_g$ $K=K_s (q/q_s)^{2b+3}, K=K_s (f_o/f_m)^{2+3/b}$
Transient Water Transport	Richards eq. $\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K \frac{\partial \Psi}{\partial z} \right] + S(z)$ $S(z)$ is the rate of root uptake boundary conditions determine infiltration, redist, etc.

표와 2-2에서 살펴본 바와 같이 에너지 평형상태에서의 토양내 수분의 이동특성을 수학적 공식으로 표현하면 다음과 같다. 토양내 수분 특성은 포텐셜이 마이너스일 때  $\theta_m = \theta_s \times (\theta_w/\theta_s)^{-b}$ 로 나타낸다.

그리고 총공극부피( $f$ )는  $f_m = a w^b$ 으로 표시하며 여기서  $a$ 는 상수이며 그리고 토양입자와 용적밀도와 관련한 수리전도도 특성을 공식6과 같이 유도할 수 있는데 여기서  $d_s = 316 \exp(-3.454m_s - 7.712m_s)$ 를 의미하며  $m_s$ 와  $m_p$ 는 미사와 점토를 의미한다. 이와 같은 가정하에서 포화수리전도도는 공식 8과 같이 표현할 수 있다.

$$K_s = \frac{25 \times 10^{-4}}{d_s^2} = 10^{-4} d_s \left[ 2 \left( 1 - \frac{A}{\rho_s} \right) \right]^m = 10^{-4} d_s (2f)^m \quad (2-26)$$

그러나 습윤한 상태로 존재하는 토양의 심층부에서의 수분의 이동은 중력에 의한 수분이동이 주를 이룬다. 중력에 의한 수분이동을 Darcy의 공식에 따라  $q_z = -k$ 로 표시하며 연속적 수분이동은  $a\theta/at = aK/az$ 로 나타낸다. 이때 공극수의 속도는  $v = q/\theta$ 으로 나타낼 수 있으며 중력에 의해 지배되는 유속(flux)은  $v = -K/\theta$ 로 나타내며 불포화 상태의 수리전도도는  $K = a\theta^b$ 와 같다.

그러나 중력과 연속적 흐름보다는 토양내에서의 수분의 이동은 선택적 흐름에 주로 영향을 받으며 이들 선택적 흐름은 (1) bypassing flow; (2) fingering flow; (3) Funneled flow의 3가지로 요약할 수 있다 (그림 2-10).

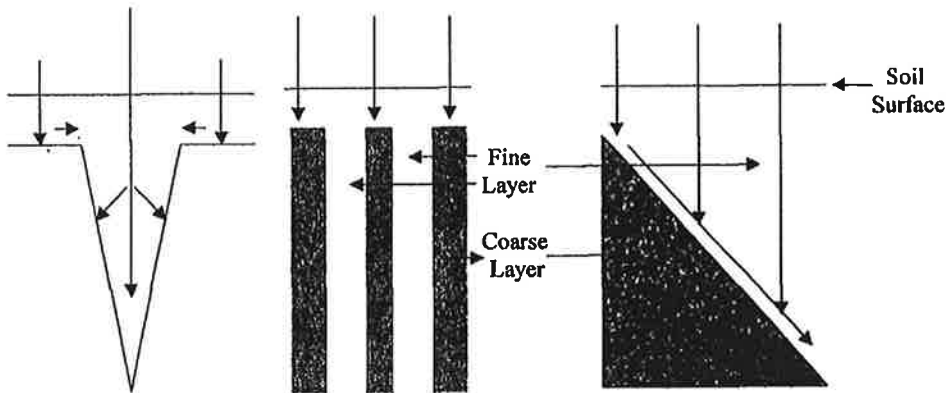


그림 2-10. 토양내에서 수분의 선택적 이동 모형

Markus(1999)에 발표한 Investigation of the water exchange mechanisms between preferential flow paths and the soil matrix에 따른 강우량의 차이에 따른 토양내 수분 이동을 살펴보면 그림 2-3과 같은 토양에 dye를 처리 후 인공강우기로 아주 낮은 강우(그림 2-11)와 높은 강우(그림 2-12)를 처리시 그림 2-11에서 단면에서 보는 대공극을 통하여 dye가 이동되고 있음을 알 수 있었다. 특히 낮은 강우의 경우 dye의 수평이동(그림 2-11)은 대공극의 통로로부터 아주 미약한 양으로 수평으로 이동됨을 알 수 있다. 따라서 토양에서의 수분의 이동은 토양의 공극 특성 즉 공극의 크기가 직접적으로 물질이나 수분에 이동에 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

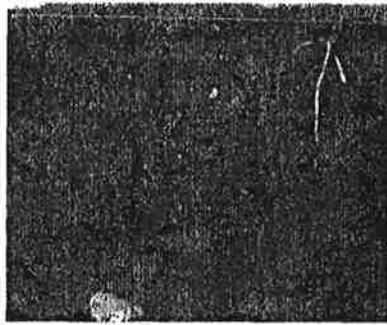


그림 2-11. 토양의 공극 분포 단면

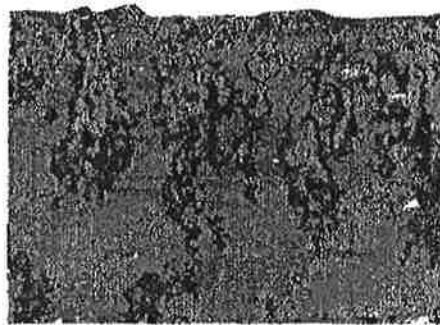


그림 2-12. 낮은 강우-dye 분포

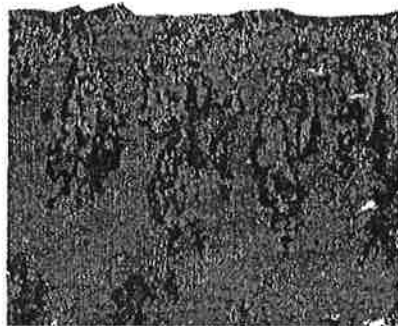


그림 2-13. 높은 강우-dye 분포

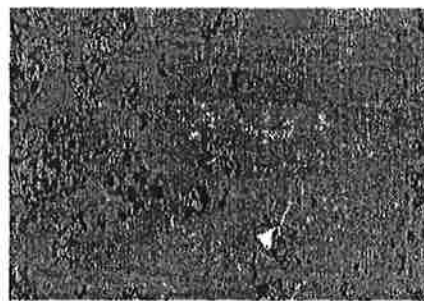


그림 2-14. 높은 강우-수평이동

그림 2-15는 토양입자와 반응을 하지 않는 토양내에서의 이온의 용출과  
 쇄곡선을 나타낸 그림으로서 50 %의 이온이 용출에 도달하는데 소요되는  
 공극수는 약 0.5 정도이나 실제 용출속도는 토양이 가지는 공극특성에 따  
 라 달라진다.

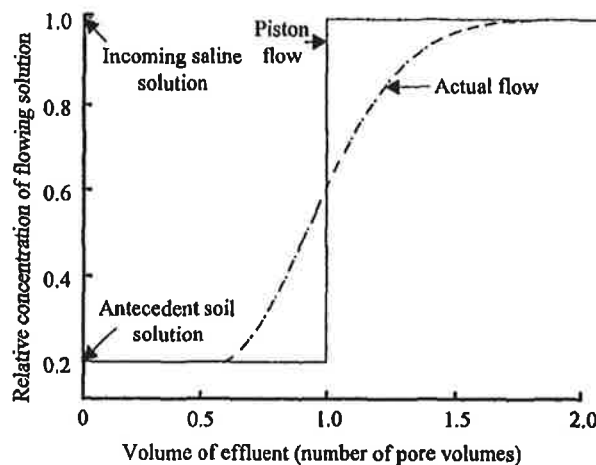


그림 2-15. 포화 사질토양에서의 saline 용액의 파쇄곡선

특히 불포화 상태에서의 수분의 이동은 matric potential에 의한  
 diffusion이 주를 이루어 실제 leaching requirement에 의한 관개 효과는  
 매우 미미하며 압밀과 점토입자의 집적에 의한 수분이동에 필요한 실제 유  
 효공극이 감소되어 염류집적 토양의 염류 개선에 도움을 주지 못한다.

따라서 이러한 경우에 의한 압밀이나 잦은 관개 조건하에서 발생할 수  
 있는 점토입자의 용탈 집적에 의한 불투층의 형성을 방지하기 위하여 지속  
 적 수분의 하향 이동을 유도하고 염류의 집적을 방지하기 위하여 압밀의  
 조건하에서도 불투수층이 형성되는 경운층 이하의 층에서 수분의 이동이 용  
 이한 선택적 수분흐름과 적정 수리전도도를 유지하는 토양구조가 필요하다.

## 제 3 장 시설재배지 토양의 특성

### 제 1절 서론

우리나라의 시설재배는 대부분 영농이 편리하고 관개용수 확보가 용이한 논을 밭으로 답전윤환하여 활용되고 있으며 특히 WTO체제에 따른 농산물 수입개방 이후 정부의 소득증대 사업으로 대두되면서 현재에는 과잉생산으로 인한 겨울철 시설재배 농산물의 가격하락으로 이어지고 있는 실정이다.

시설재배는 연중 다작에 따른 토양교란과 과다시비재배 등의 원인으로 크게는 농촌경관부터 안으로는 토양 중 양분과부하에 따른 EC상승, 물리성 악화, 미생물상의 이상, 지하수의 오염 등의 역기능도 무시 못하게 나타나고 있다(김 1998, 김 2000, 권등 1998). 한편 우리 나라 논·밭의 답전윤환 적지 판정 결과는 적합 33.4%, 가능 39.9%, 부적합 면적이 26.7% 정도로 보고(정 등 1993)되었다.

이러한 문제로 인하여 시설재배 토양개량 방법으로 담수재배, 제염작물, 객토, 환토 등의 토양물리성 개선, 토양검정시비 등 (김 1996, 이 1987, 황 1993) 다양한 토양 개선 기술이 보급되고 있지만 시설재배사의 과다한 시설투자 및 입차료, 그리고 기계적 토양 개선은 시설재배사의 구조적 문제로 인하여 쉽게 실천되지 못해 시설재배 토양은 점차 악화되기 쉬운 현실이다.

본 조사에서는 이러한 문제점을 지닌 장기(10년이상 시설재배지), 중기(10년 이하 3년 이상), 단기 시설재배지(3년이하)를 대상으로 하여 토양의 물리화학적 특성을 조사하여 본 연구과제가 최종 목표로 하는 토양구조 개발 연구의 기초 자료로 활용하고자 하였다.



## 제 2절 재료 및 방법

상기 연구범위에서 밝힌 목적을 달성하기 위하여 본 연구는 경기도 하남시 상추재배단지, 충남 부여 방울토마토 재배단지, 충남 강경, 임천, 연무, 보령, 경북 고령, 충북 제천 등의 시설재배 토양과 대조구로는 지난 10년간 시설농업이 행해지지 않은 일반 노지로 충남 아산과 충남대 농대 실습포장의 시험포와 경기도 수원 작물시험장 참깨 등을 재배하는 노지를 대상으로 하여 조사를 실시하였다.

### 1. 조사 대상지 기초 토양 특성 및 분포 조사

#### 가. 토양의 물리화학적 특성 분포 조사

각각의 지역에서 3개소를 선정하여 길이 1m, 깊이 0.6m깊이의 토양구를 확보한 후 토층단면 조사를 실시하였다. 그리고 토양시료는 교란과 비교란 시료로 구분하여 지표면으로 매 10cm 간격으로 직경 5cm, 길이 10cm의 스테인리스 원형토양시료채취기로 비교란 토양시료를 3반복으로 채취하여 토양의 물리적특성(투수계수, 용적밀도, 수분보유력 등)을 조사하였고 이와 별도로 교란시료를 A와 B층으로 나누어 각각 약 10kg씩 취하여 실험실에서 토양의 화학적 특성을 조사하였다.

토양시료제조방법은 농촌진흥청 토양조사법과 미국 토양학회 권장 토양 분석법을 이용하여 조사하였다. 토양 분석은 풍건후 2mm체로 사분하여 농업기술연구소(1988)의 토양화학 분석법에 준하여 실험을 실시하였다. 이때 토성은 sodium hexametaphosphate 용액으로 시료를 분산 후 Hydrometer를 이용하여 측정하였으며, 전기 전도도(Electrical Conductivity :EC) 및 pH 분석은 물에 의한 1:5 용출법, 유기물 함량 (Organic Matter : OM)은 Wakley black법에 의해 각각을 분석하였다. 토양의 깊이별 용적밀도는 직경 5cm, 길이 10cm의 스테인리스 원형토양시료채취기내의 비교란 시료를

건조기에서 105 ℃에서 48시간 완전 건조 후 건조 전 후의 무게차이를 구한 후 이를 시료채취기의 부피로 나누어 구하였다.

#### 나. 포화수리전도도( $K_{sat}$ )

$K_{sat}$  측정은 비교란 시료를 채취 풍건한 후 Wiley Mill을 이용하여 분쇄 후 2mm 체를 통과한 시료를 가에서 조사된 용적밀도로 직경 5 cm의 Acryl Column에 현장에서 조사된 토층의 깊이와 같게 일정하게 충전 시킨 후 이 토주(土柱)을 48시간 동안 증류수를 이용하여 상향포화 시킨 후(Fig.2-1) 증류수를 이용하여 토주의 표면으로부터 3cm 높이로 일정하게 수두(Constant head method)를 유지하면서 조사하였다.

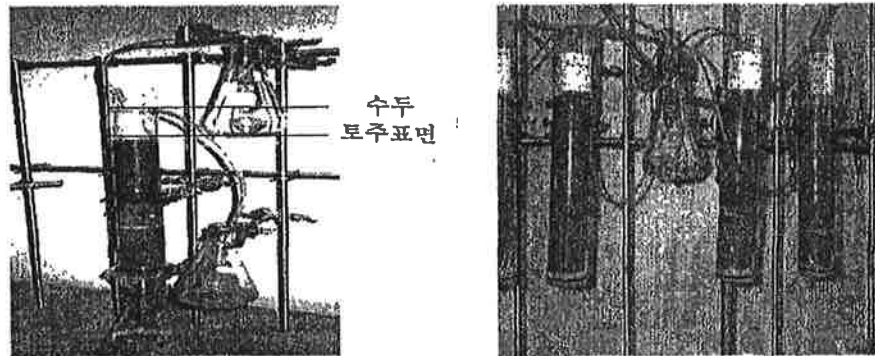


그림 3-1. 포화수리전도도를 측정하기 위한 장치

이때 시간에 따른 용출액의 부피가 일정하게 포집될 때까지 용출수를 측정하여 시간 변화에 따른 포화 수리전도도를 Darcy's Law(공식 1)에 따라 환산하였다.

$$q = K_{sat} \frac{dH}{L} \quad (\text{공식 1})$$

여기서  $q(\text{flux})$ 는  $\frac{Q}{A \cdot T}$ 로 의미하며  $Q$ 는 유량,  $A$ 는 수분이 통과하는 토주의 표면적( $L^2$ ), 그리고  $T$ 는 유량( $Q$ )를 얻는데 소요된 시간을 의미한다. 한편  $K_{sat}$ 는 포화수리전도도이며,  $\frac{dH}{L}$ 는 수두차이를 수분이 통과하는 토양의 길이로 나눈 수리편차(hydraulic gradient)를 나타낸다.

### 제 3절 결과 및 고찰

기존의 시설 재배 농가를 대상으로 하여 현재 토양의 특성을 조사하였다. 조사된 시설재배지는 충남 논산, 연무, 부여, 임천, 강경, 보령, 경북 고령, 경기도 하남 등에 위치한 초작부터 10년 이상의 시설재배지와 대조구로 충남대 농대 실습포장 노지, 충남 아산과 수원 작물시험장 노지에 대하여 토양 특성과 관개 방법 등의 사례를 수집하여 조사하였다.

#### 1. 시설재배지 토양 특성

##### 가. 하남

하남 시설재배 단지내에서 상추의 뿌리썩음병 현상이 현저한 3개 시설 농지의 단면구조를 조사한 결과 조사된 깊이 즉, 지표면으로 50cm 이내에서는 일반적으로 농경지 토양에서 발견되는 토층분화특성은 발견되지 않았으나 조사된 3개소 모두 Ap층은 지표면으로부터 약 25cm 정도의 깊이로 형성돼 있음을 알 수 있었다.

토양의 물리적 특성인 용적밀도를 깊이 50cm까지 조사한 결과 지표면으로부터 깊이가 깊어짐에 따라 용적밀도는 최소  $1.07g\ cm^{-3}$ 에서  $1.49g\ cm^{-3}$

까지 증가됨을 알 수 있었다(표 3-1). 특히 지표면으로부터 약 25cm 깊이 지점부터 토양의 용적밀도는 급격하게 증가하는 경향을 보여주었을 뿐만 아니라 토성은 Ap층의 경우 점토함량이 약 22%정도인 양토에 속하고 20cm 이하의 깊이에서는 식양토의 토성을 나타내고 있다. 추정컨대 Ap층에 존재 하던 점토입자가 잦은 관개에 의해 하층부로 용탈되고 특히 기계경운에 따른 압밀층이 30cm 부근에 형성되면서 상층부로부터 용탈된 점토입자가 경계면상에 집적되면서 용적밀도가 높아진 것으로 추정된다.

표 3-1. 하남시설재배지 3개소의 용적밀도 특성과 토성

깊이 (cm)	용적밀도 (g cm <sup>-3</sup> )			토 성
	1	2	3	
0~10	1.07	1.11	1.09	양토
11~20	1.22	1.26	1.28	양토
21~30	1.35	1.38	1.33	식양토
31~40	1.47	1.44	1.49	식양토
41~50	1.43	1.42	1.44	식양토

한편 동일 조사지점의 토양을 Ap층(10~20cm)과 B층(20~40cm)으로 구분하여 pH, 전기전도도(Electrical Conductivity : EC) 유기물함량(Organic Matter : OM), 양이온치환용량(Cation Exchange Capacity : CEC) 등의 토양 화학성을 조사한 결과 조사된 토양 모두 염류장해 측정 기준인 전기전도도가 작물생육에 영향을 미치는 수준인 2dS m<sup>-1</sup> 이상으로 나타났고 Ap층보다 B층의 유기물 함량이 약 1/2 수준으로 조사되었다.

그리고 이들 토양에 존재하는 이온의 상태를 조사하기 위하여 pH 7로 조절된 증류수를 이용한 수용성과 0.1N HCl로 추출한 이온의 분포의 경우 양

이온은 음이온보다 Ap층에서 B층보다 많이 집적되어 있는 것으로 나타났으며 토성의 경우 Ap층의 토성은 모두 양토였으며 B층은 양토에 가까운 식양토로 조사되었다. 따라서 이는 Ap층으로부터 관개와 함께 점토성분이 하층으로 이동되었음을 알 수 있었다 (표 3-2).

표 3-2. 하남지역 시설재배지 토양의 화학적 특성

토층	pH	EC (ds cm <sup>-1</sup> )	OM (%)	CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )	입경분포 (%)			토성	
					점토	미사	모래		
1	A	6.11	5.3	2.62	9.2	26.8	36.1	37.1	양토
	B	5.31	3.6	1.26	7.1	28.8	26.3	44.9	식양토
2	A	6.31	3.3	3.10	11.2	22.8	40.1	37.1	양토
	B	5.64	2.9	1.48	7.41	29.8	23.3	46.9	양토
3	A	6.04	5.6	2.8	9.4	22.8	38.1	39.1	양토
	B	5.81	6.2	1.2	7.7	29.4	27.3	43.3	식양토

그리고 수용성과 치환성 이온의 분포를 조사한 결과 이온은 수용성이온보다 주로 치환성 양이온의 형태로 토양에 존재하고 있었으며 이는 토양의 pH 조건에 따라 수용성으로 전환될 실제 염류장해를 야기시킬 수 있는 것으로 조사되었다.

표 3-3. A와 B층 토양내 수용성과 치환성 이온의 분포 특성

토층		수용성이온 (mmol L <sup>-1</sup> )				치환성이온 (mmol Kg <sup>-1</sup> )				수용성음이온 (mmol L <sup>-1</sup> )			
		Na <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>+2</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
1	A	ND	2.14	9.15	3.11	4.28	32.5	14.4	67.2	0.73	1.46	3.15	0.94
	B	ND	1.65	4.3	2.84	4.03	24.6	10	47.9	1.68	2.1	2.09	1.25
2	A	0.02	1.24	6.2	3.31	3.28	28.5	16.4	57.2	1.73	1.3	2.25	2.85
	B	0.34	1.89	6.3	2.91	5.03	32.6	15.4	47.8	3.68	1.2	1.11	2.15
3	A	0.1	2.44	6.15	3.51	3.28	28.5	18.4	47.2	1.79	1.65	3.45	1.18
	B	0.4	1.85	3.35	2.24	2.03	34.6	16.2	37.8	1.28	1.25	2.29	2.04

한편 조사된 토양의 깊이별 용적밀도 변화를 비교해 보면 (Fig. 3-2), 하층부로 깊어짐에 따라 증가되어 35cm 부근에서의 조사된 용적밀도 최대치인  $1.47 \text{ g cm}^{-3}$  내지  $1.49 \text{ g cm}^{-3}$ 에 이르고 이하의 깊이에서는 약 0.02 내지 0.04 정도 감소하는 경향을 보여주고 있다. 이는 조사된 시설재배지는 1년에 약 6내지 7회 정도 기계경운을 실시하고 있었으며 이랑 만들기에 있어 타 지역보다 약 10 cm 정도 높이를 더하고 있는 것으로 조사되었다.

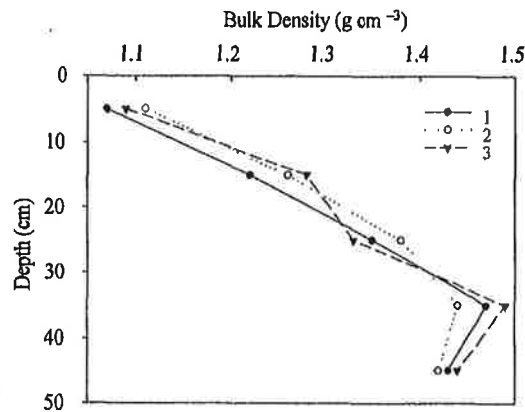


그림 3-2. 하남시설재배토양의 깊이별 용적밀도 변화 특성

#### 나. 충남 연무

조사된 충남 연무지역의 시설재배지 토양은 10년내지 15년 정도 포도를 시설재배로 재배한 토양의 특성을 조사한 것이다. 일반적으로 포도와 같은 작목을 재배하는 시설재배지의 경우 한번 이식 후 수종 전환시까지 경운을 실시하지 않으며 2월부터 7월까지 수확기간을 거친 이후에는 포도 나무 주변에 일부 유기물만을 사용하는 것으로 조사되었다. 따라서 본 재배지는 하남과 달리 장기 연작지이면서도 기계경운이 실시되지 않으며 근권의 형태도 다른 시설재배토양이다.

표 3-4에서 보여주는 바와 같이 조사된 토양의 토성은 표층 10cm의 경우 미사질양토 또는 양토로 구성되 있으며 조사 깊이 30cm 부근에서 식양토가 조사되기도 하였다. 그리고 EC는 일반 시설재배토양과 달리 대부분의 토양에서  $2 \text{ dS m}^{-1}$  이하로 염류장해의 피해를 우려할 정도는 아니었다. 그리고 용적밀도는 표층 10cm의 경우  $1.1 - 1.15 \text{ g cm}^{-3}$ 의 범위에 있었으며 30cm 부근의 용적밀도는 약 1.37 내지  $1.40 \text{ g cm}^{-3}$  정도로 조사되어 하남 시설재배지와 비교시 낮은 수치를 보여주고 있다. 이는 시설포도재배지의 경우 경운이 거의 없었기 때문인 것으로 추정된다.

표 3-4 . 충남 연무 포도시설재배 토양의 특성

구분	깊이	pH	EC ( $\text{dS m}^{-1}$ )	OM (%)	CEC ( $\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1}$ )	토성
1	10	5.6	1.9	1.92	8.98	미사질양토
	20	5.6	0.6	1.41	5.24	양토
	30	5.6	0.8	1.08	2.69	양토
2	10	5.6	4.7	2.05	5.69	양토
	20	6.0	2.8	1.25	4.85	양토
	30	6.1	1.9	0.96	3.32	양토
3	10	5.4	1.0	1.36	7.02	미사질양토
	20	6.0	0.3	1.25	6.12	양토
	30	5.8	0.5	0.95	4.24	식양토
4	10	6.3	2.1	1.86	5.21	양토
	20	6.0	1.8	1.32	3.33	양토
	30	5.7	1.5	1.02	1.28	식양토
5	10	6.9	1.1	1.88	6.25	미사질양토
	20	6.8	0.7	1.24	2.58	양토
	30	6.4	0.9	1.11	2.25	양토
6	10	6.3	1.1	2.35	6.25	양토
	20	5.3	0.7	1.52	5.62	양토
	30	5.6	1.0	1.21	4.33	식양토

그리고 CEC와 OM 함량 또한 일반 시설재배지 보다 낮음을 알 수 있었

다. 이는 연간 유기질퇴비의 처리 빈도와 처리량이 타 시설재배지보다 적음에 기인한다고 추정된다.

한편 이들 토양에 존재하는 이온을 0.1N HCl로 추출하여 분석한 결과 양이온의 경우 Ca와 K 이온이 타 이온에 비해 상대적으로 높은양으로 조사되었다.

표 3-5. 충남 연무 포도시설재배 토양내 이온의 분포 특성

구분	깊이	Ca	K	Na	Mg	Cl	NO <sup>3-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
		(mg / kg)							
1	10	96.9	197.3	169.9	70.0	46.99	7.64	3.74	3.14
	20	19.6	128.4	75.7	55.0	37.84	2.90	3.51	2.31
	30	39.3	140.1	63.0	60.0	31.69	3.49	2.24	2.48
2	10	424.7	574.6	216.9	300.0	152.19	24.45	11.39	10.96
	20	266.5	370.4	132.3	150.0	76.05	14.46	6.59	5.64
	30	161.1	264.5	126.3	65.0	63.33	9.82	4.82	4.43
3	10	63.8	166.6	122.9	45.0	51.69	5.99	2.02	2.81
	20	12.4	89.8	86.3	15.0	43.08	1.60	2.07	2.27
	30	46.4	72.1	84.9	20.0	54.82	3.05	1.98	2.58
4	10	163.0	333.9	95.6	75.0	56.38	13.12	2.58	4.89
	20	135.5	240.3	83.8	65.0	48.01	10.60	1.69	5.31
	30	129.8	176.7	88.2	35.0	47.07	7.90	1.39	5.03
5	10	94.0	115.4	85.5	25.0	25.60	5.06	2.74	4.18
	20	52.1	104.7	62.1	25.0	13.57	1.28	1.23	1.77
	30	79.4	110.3	74.6	35.0	23.78	0.84	1.26	5.05
6	10	74.1	273.8	121.3	35.0	49.73	4.84	12.97	2.98
	20	44.0	159.5	65.2	25.0	29.13	3.13	7.31	2.78
	30	58.2	162.5	64.6	30.0	30.72	4.24	4.31	3.41

#### 다. 충남 임천

충남 임천지역에서 조사된 시설재배지는 반경 10 km에 걸쳐 있으며 주재배 작목은 오이이며 시설재배지가 타지역과 달리 답전(耨田)운작지가 포



함되 있으며 (표 3-6) 한편 2~3년 시설재배 후 담으로 전환하는 특성을 가진 지역이다. 일부 지역의 시설재배지는 지하수면이 높아 지표면까지 습윤한 상태로 존재하고 있었다. 그리고 일부 시설재배지는 이러한 문제를 해결하기 위하여 이랑의 높이가 약 70 cm에 달하는 지역도 있었다.

표 3-6. 충남 임천 오이시설재배지 토양의 특성

구분	깊이	0.M (%)	pH	EC <sup>-</sup> (ds m <sup>-1</sup> )	비고
1	10	2.7	5.92	0.38	9년간 수도재배 당해 초작지
	20	3.46	6.42	0.36	
	10	6.5	6.71	6.10	오이, 토마토 7년 2년 휴경 후 배추재배 무강우
	20	5.75	6.75	3.00	
	10	4.79	7.00	0.53	오이, 토마토 7년 2년휴경 배추재배
	20	5.00	5.86	0.05	
2	10	3.18	6.36	0.36	초작지
	20	2.6	6.61	0.55	
3	10	5.34	6.79	2.40	
	20	3.94	6.20	1.05	
4	10	4.76	7.01	1.00	2년경작 전이토
	20	4.59	7.02	0.50	
5	10	2.64	5.95	0.30	초작지 2000년 굴토후 토양개선
	20	2.98	6.01	0.19	
6	10	3.46	7.00	0.43	2년 경작
	20	1.85	7.26	0.26	
7	10	6.5	7.35	3.05	오이, 벼 4년경작
	20	4.69	7.67	2.70	

조사된 대부분의 토양의 EC는 2 ds m<sup>-1</sup> 였으며 특히 담전 율환지역에서 EC가 높은 경향을 보여 주고 있었다. 그리고 퇴비를 많이 사용하여 타 지역보다 유기물의 함량이 최고 6%에 달하는 경우도 조사되었다.

그리고 이들 토양내의 이온의 분포 특성을 조사한 결과 타지역의 이온

의 농도보다 다소 낮은 값을 보여주고 있었다. 이는 타지역과 달리 답전운환을 실시하는 경우가 많았고 특히 이랑의 높이가 높아 관개시 이랑의 측면으로 용출되어 상대적 이온의 토양내 집적이 감소되는 것으로 추정되었다.

### 3-7. 충남 임천 오이 시설재배 토양내 이온의 분포 특성

구분	Mg	Na	Ca	K	Cl <sup>-</sup>	NO <sup>3-</sup>	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
	(mg / kg)				(cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )			
1	2.20	130.50	19.76	40.45	0.34	0.02	0.06	0.03
	14.10	115.50	16.63	24.45	0.17	0.01	0.03	0.05
	27.05	256.50	321.33	249.10	0.24	0.02	0.02	0.03
	42.70	164.50	85.25	226.05	0.20	0.01	0.02	0.03
	21.60	106.50	0.00	80.35	0.27	0.02	0.06	0.04
	10.35	104.50	0.00	113.55	0.27	0.02	0.04	0.04
2	9.60	119.50	21.07	46.95	0.27	0.02	0.02	0.07
	18.15	123.50	8.03	37.55	0.19	0.05	0.05	0.03
3	9.95	108.50	10.82	29.20	0.19	0.01	0.03	0.05
	8.30	91.00	3.45	15.30	0.21	0.01	0.16	0.06
4	57.25	147.50	376.96	171.45	0.26	0.02	0.04	0.04
	18.25	141.50	61.35	130.90	0.17	0.01	0.02	0.03
5	15.10	116.50	80.24	124.20	0.29	0.03	0.03	0.04
	14.90	119.00	17.62	72.50	0.30	0.02	0.02	0.04
6	14.70	112.50	15.54	19.00	0.22	0.01	0.03	0.03
	18.60	107.50	6.26	7.15	0.34	0.03	0.05	0.04
7	20.70	110.50	14.98	45.45	0.41	0.03	0.04	0.04
	22.60	106.00	2.23	56.35	0.23	0.02	0.02	0.03
8	32.20	158.50	111.29	227.95	0.23	0.02	0.02	0.03
	32.45	154.50	81.29	181.90	0.24	0.02	0.03	0.04

#### 라. 충남 보령 및 기타

충남 보령 보령화력발전소 부근에 위치하는 시설재배농가는 약 4개 농가 21,000m<sup>2</sup>에 달하며 주작목으로 방울토마토를 약 6년째 재배하고 있으나 충남세도의 방울토마토 재배단지의 평균 수확량의 약 70% 정도였으며 각종

병해 등이 매년 발생하고 있어 조사지로 선정하여 조사하였다. 표 3-8에서 보는바와 같이 지표면 0cm 내의 EC가 정상생육에 위해수준인  $2\text{dS m}^{-1}$  보다 약 3배 내지 7배를 초과하고 있었으며 그러나 병해가 발생한 지점의 EC는  $1.1\text{ dS m}^{-1}$ 로 아주 정상적인 EC값을 나타내었다. 그리고 Na 이온의 함량이 타지역의 함량보다 약 2배 수주에 달하고 있어 토성 조사 결과 점토 함량이 약 32%에 달하는 미사질식양토로서 토양입단의 분산이 우려되었다.

표 3-8. 충남 보령시설재배 토양의 특성

구 분	1	2	3	
	10cm	10cm	정상	병해
pH	7.13	6.89	6.54	6.66
EC( $\text{dS m}^{-1}$ )	5.75	15.55	5.1	1.1
OM (%)	2.38	11.21	1.21	2.82
Mg( $\text{mg / kg}$ )	232	1090	315	30.5
K( $\text{mg / kg}$ )	115.6	2125	101.4	116.5
Na( $\text{mg / kg}$ )	866.5	674.5	461.5	286
Ca( $\text{mg / kg}$ )	54.1	308.5	141.1	N.D
$\text{Cl}^{-}$ ( $\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ )	0.51	0.59	0.47	0.06
$\text{NO}_3^{-}$ ( $\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ )	0.01	0.07	0.02	0
$\text{PO}_4^{3-}$ ( $\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ )	0.02	0.02	0.01	0
$\text{SO}_4^{2-}$ ( $\text{cmol}_c\text{ kg}^{-1}$ )	0.01	0.05	0.01	0.01
토성	미사질식 양토	미사질 식양토	미사질 식양토	미사질식 양토

한편 토양의 깊이별 용적밀도를 조사한 결과 조사지 모두 타 지역과 유사한 경향을 보여주었는데 표층 10 cm는  $1.15\text{ g cm}^{-3}$ , 10 - 20cm는 약 1.32 내지  $1.36\text{ g cm}^{-3}$ , 그리고 20-30 cm 깊이는 1.42 내지  $1.45\text{ g cm}^{-3}$ 의 범위로 조사되었다.

그리고 조사된 경북 고령의 시설재배지의 경우 현재 최소 5년내지 8년 정도 딸기를 재배하고 있는 토양으로서 표층 15cm의 토성은 식양토로서 유

기물 함량이 3 % 이상이며 BD는 모두  $1.3 \text{ g cm}^{-3}$  이하였다. 그러나 조사 당시 탐침에 의한 조사시 표층으로부터 약 25cm 깊이에 압밀층이 형성된 것으로 추정되었다.

표 3-9. 경북 고령 딸기 시설재배지 토양의 특성

구분	pH	EC	OM	BD	CEC	토성
	(1:5)	$\text{dS m}^{-1}$	(%)	$(\text{g cm}^{-3})$	$(\text{cmol}_c \text{ kg}^{-1})$	
1	7.65	2.150	4.76	1.12	25.3	식양토
2	6.00	0.765	4.03	1.23	22.1	식양토
3	5.72	0.457	2.58	1.29	13.6	식양토
4	5.44	0.540	3.25	1.15	17.2	식양토

이외의 충남 논산군 가야곡에 위치한 시설재배지는 현재 딸기를 3년차 재배하고 있으며 경정깊이는 약 15cm, 복토층의 높이는 약 10cm, 따라서 경운된 총 근권층의 깊이는 25cm 정도로 근권층 25cm의 평균 용적밀도는  $1.25 \text{ g cm}^{-3}$ , 25cm 이하의 심토층의 용적밀도는 1.38 내지  $1.42 \text{ g cm}^{-3}$ 였다. 그리고 이 시설재배지의 경우 관개는 점적관수로 약 5일 간격으로 약 1.5시간 정도 관수하는데 약 30톤 정도로 추정된다. 이 토양의 용적밀도를 기준으로 근권층의 수리전도도를 조사시  $5.5 \text{ cm day}^{-1}$ 이나 심토층의 수리전도도는  $0.25 \text{ cm day}^{-1}$ 으로 근권층에 비해 약 1/20 이하 정도로 급격히 감소함을 알 수 있었다.

그리고 충남 논산군 성동면의 4년차 참외를 재배하고 있는 시설재배지의 경우 경운깊이는 약 15cm, 복토층 높이는 약 10cm 따라서 총 가용 근권층의 깊이는 25cm 정도로 추정되었으며 근권층의 평균 용적밀도는  $1.23 \text{ g cm}^{-3}$ , 25cm 이하의 심토층의 용적밀도는  $1.43 \text{ g cm}^{-3}$  정도였다. 이 토양을 대상으로 하여 수리전도도를 측정한 결과  $3.5 \text{ cm day}^{-1}$ (근권),  $0.2 \text{ cm}$

day<sup>-1</sup>(심토)였다.

한편 충남 부여군 세도면 방울토마토를 재배하고 농가 7개소를 조사한 결과 이상에서 살펴 본 바와 같은 동일한 현상을 보여 주고 있었다.

#### 마. 일반 노지 토양의 특성

시설재배가 아닌 노지토양은 대부분 1년 1기작으로 기계 경운의 횟수가 1년에 1회 또는 2년에 3회 정도로 시설재배지보다 최소 1/3이하이며 관개방식 또한 대부분 자연장우에 의지하고 있다.

표 3-10에서 보는 바와 같이 충남대의 경우 BD는 지표면으로부터 깊어짐에 따라 감소하는 경향을 보인 반면 아산토양의 경우 지표면과 40cm 깊이의 BD 차이는 약 0.16 g cm<sup>-3</sup> 정도의 차이를 보였다.

3-10. 충남대, 아산, 수원 지역의 노지 토양의 특성

지역	깊이 (cm)	Texture			OM (%)	BD (g cm <sup>-3</sup> )	pH	EC (dS m <sup>-1</sup> )	CEC (cmol <sub>c</sub> kg <sup>-1</sup> )
		Sand	Clay	Silt					
충대	0-10	54	24	54	1.34	1.23	4.44	0.40	8
	20	40	20	40	3.02	1.34	4.68	0.56	4.8
	30	54	27	19	2.33	1.20	4.66	0.74	1.4
	40	48	26	26	1.02	1.18	4.59	0.34	1.2
아산	0-10	50	26	24	2.01	1.08	5.25	0.37	5.8
	20	40	33	27	2.18	1.20	4.79	0.41	8.8
	30	44	30	26	1.68	1.25	4.75	0.42	4.8
	40	46	26	28	2.33	1.24	4.9	0.51	4.8
수원	0-10	40	30	30	1.68	1.16	4.69	0.36	5.6
	20	40	29	31	2.69	1.38	4.41	0.51	4.8
	30	42	27	31	2.69	1.43	4.43	0.56	4.8
	40	42	21	37	5.88	1.42	4.42	0.50	4.8

반면 수원토양의 경우 지표면과 40cm 깊이의 BD 차이는 약 0.26 g cm<sup>-3</sup>

정도의 차이를 보여 주고 있었다. 이는 수원 작물시험장의 노지의 경우 1년 2기작으로 옥수수-보리, 콩-밀, 참깨-보리 등의 윤작을 지난 7년간 해왔으며 경운의 경우도 1년 3회, 1회마다 약 7회 왕복 경운을 실시한 결과 노지에서도 경운층 이하의 깊이에서는 압밀이 발생할 수도 있다는 추정을 가능케 한다. 그리고 토양의 깊이별 BD의 차이는 각 지역별 토성과 토양내 유기물 함량과도 밀접한 관계가 있는 것으로 추정된다.

이상의 조사된 시설재배지 토양의 결과를 김 등이 “시설재배 토양의 합리적 관리기술개발”에서 보고한 하우스 토양을 우수하게 관리한다고 하는 농가와 이웃 농가에 대해서 토양물리성을 조사한 결과는 표4와 같다. 표와 비교시 조사된 시설재배지 토양 모두 양호(Good)로 조사된 표층 토양의 평균 용적밀도  $0.88 \text{ g cm}^{-3}$ 보다 약 0.2 unit 정도 높았으며 불량(Neighbor:N)으로 조사된 시설재배농가 토양의 평균 용적밀도  $1.10 \text{ g cm}^{-3}$ 보다도 약 0.08 unit 정도 높음을 알 수 있었다.

그리고 김 등(2000)이 연구보고서에서 제시한 내용에 따르면 토양의 물리적 상태는 우수토양관리 농가로 선정된 농가가 이웃에 비하여 월등히 우수한 조건을 갖추고 있었다. 예를 들어 토양의 가비중은 우수토양관리 농가의 경우 0.89로써 이웃 1.10에 비하여 가벼웠다. 이것은 작물의 뿌리가 쉽게 근권을 확보할 수 있게 해주며 (조인상, 1976), 양수분의 공급 또한 쉽게 해 줄 수 있다는 단적인 지표가 될 수 있다. 또한, 토양의 작토심의 경우 대부분 트랙터로 심경을 하여도 18cm 내외이나 우수 토양관리농가의 경우 23.1cm로써, 이웃농가의 17.8cm에 비하여 대단히 깊게 토양의 관리하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 토양의 통기성과 경도 역시 우수토양관리 농가가 이웃농가에 비해 더 양호한 것으로 나타나 우수 농가는 최대근권 확보와 뿌리의 환경을 양호하기 위한 토양관리가 우선되고 있었다.

표 3-11 토양관리 정도에 따른 토양의 물리적 특성 비교

Category	Texture	Clay (%)	Bulk density		Air * permeability		Plowing Depth (cm)		Hardness (mm)	
			G	N	G	N	G	N	G	N
1	SiL	7.6	0.78	1.07	7.3	6.8	23	14	8.3	12.3
2	SiL	7.5	0.79	1.24	7.6	2.4	22	10	-	-
3	SiL	10.9	0.89	1.08	37.0	22.8	21	21	7.0	13.3
4	SiL	8.0	0.71	0.96	18.5	16.3	15	17	14.7	9.3
5	SiL	7.5	1.05	1.10	8.0	4.9	33	25	13.3	17.7
6	SL	14.8	1.06	1.22	12.0	-	28	-	19.3	-
7	SL	11.4	0.95	1.02	26.4	7.8	20	20	6.7	7.3
Mean		9.7	0.89	1.10	17.5	10.2	23.1	17.8	10.0	12.0

G : good, N : Neighbor  
Air permeability ( $\times 10^{-4} \text{cm s}^{-1}$ )

## 2. 포화수리전도도 특성

물이 토양내를 이동하는 동안 에너지손실 즉 수두손실이 발생하는데 단위 거리를 흐르는 동안에 발생된 수두차를 hydraulic gradient ( $\Delta H$ )라고 한다. 거리 L을 흐르는 동안에 h만큼의 수두차가 발생되면 hydraulic gradient  $\Delta H = h/L$ 이고, 토양내를 이동하는 수분이 층류일 때에 단면적 A인 지반을 흐르는 단위시간당 유량 Q는 hydraulic gradient ( $\Delta H$ )에 선형 비례한다. 그런데 유량 Q는 Av이므로 침투속도( $v$ )와 hydraulic gradient  $\Delta H$  사이에는 선형비례관계가 성립되어 아래와 같은 식으로 나타낼 수 있다.

그리고 투수계수에 영향을 미치는 인자들은 다음과 같은 것이 있다.

- 점성계수 : 침투수의 흐름특성은 물의 점성에 의하여 큰 영향을 받으며 물의 점성은 온도에 반비례한다. (KS F2322에서 물의 온도15° C를 기준한 투수계수)
- 토양입자 크기 : 수분은 공극을 따라 이동하므로 토양입자의 크기가 영향을 준다. 간극의 크기는 유효입경과 관계가 있다.
- 토양의 수분포화도 : 지반이 불포화상태이면 간극에 있는 기포가 물

의 흐름을 방해하여 투수계수가 포화상태일 때보다 작아진다. 지반의 포화도가 증가하면 물의 이동통로가 확대되어 투수계수도 커진다.

● 공극의 배열상태 : 물이 흐르는 통로인 지반내 유로는 간극의 크기와 배열 즉, 토양의 구조 골격에 따라 다르므로 투수계수가 이들에 의해서 영향을 받는다. 점토는 분산구조보다 면모구조를 갖는 지반에서 유로가 크므로 투수계수가 크다. 사질토에서는 입자의 형상과 배열에 따라 투수계수가 큰 차이를 나타낸다.

● 공극률 : 투수계수는 공극률과 정의 상관관계에 있다.

따라서 토양내 수리전도도( $K_{sat}$ )는 토성(Texture), 토양 구조(Soil Structure), 토양 입자의 배열형태(Soil particle arrangement), 토양수내 용존 물질의 종류와 농도 및 유기물 함량에 의해서 영향을 받는 것으로 알려져 있다.

상기 조사된 지역 중 염류장해 피해가 심한 곳으로 추정되는 하남지역의 비교란 시료의 깊이별 용적밀도를 기준으로 하여 포화수리전도도를 조사하였다. 하남지역의 용적밀도는 지표면으로부터 깊이가 깊어질수록 1.18에서 1.49  $g\ cm^{-3}$ 로 증가되고 상대적 포화투수계수도 지표면 10 cm의 경우  $4.5 \times 10^{-2} cm\ min^{-1}$ 에서 급격히 감소하여 30cm 깊이 이하에서는 거의 유사한  $2 \times 10^{-6} cm\ min^{-1}$ 의 값을 보여주고 있다 (그림 3-3).

이와는 별도로 토양 30 cm 깊이까지의 수분의 이동 특성을 알아보기 위하여 토양의 15cm와 30cm 깊이의 교란시료를 이용하여 각각의 용적밀도를 실제 현장과 유사하게 충전 후 포화수리전도도를 조사하였다. 아래 그림 3-4에서 보는바와 같이 유기물이 0%인 경우 각각의 단일 깊이 투수계수와 유사한 투수특성을 보여주고 있으나 실제 투수계수는 10cm 또는 30cm 깊이의 단일 깊이의 수리전도도보다는 약간 증가된 값을 보여주고 있다.



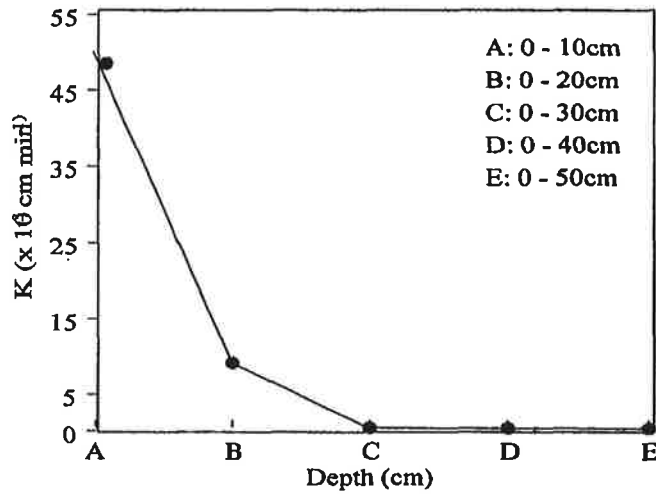


그림 3-3. 단일 토양깊이별 포화투수계수 특성변화 (A:0~10cm; B:11~20cm; C:21~30cm; D:31~40cm; E:41~50cm).

이는 토양의 깊이가 증가하면 함에 따라 최종 용출되는 지점에 부하되는 Pressure Head 값이 증가할 뿐만 아니라 수분이 연속성 때문인 것으로 추정된다.

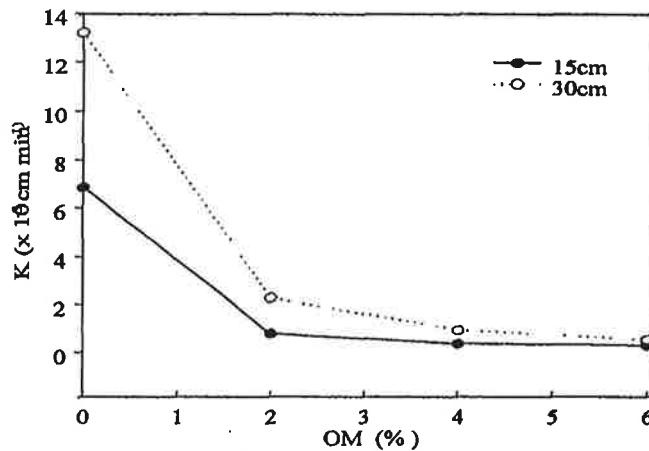


그림 3-4. 토양의 연속깊이별 포화수리전도도 변화 특성

그러나 일반적인 시설재배지 토양에서 조사된 깊이까지 완전히 포화된 상태에서 수분이 이동하는 경우는 미미하기에 실제 투수계수는 불포화 투수특성에 의존할 것으로 판단된다.

본 연구에 조사된 하남시설재배단지의 토양은 타 일반 시설재배단지의 토양과 마찬가지로 유기물의 시용이 많은 것으로 조사되었다. 따라서 이러한 시설재배단지의 특성을 고려한 퇴비를 건조토양 대비 0, 2, 4, 6%의 4단계 비율로 우분퇴비를 용적밀도  $1.15 \text{ g cm}^{-3}$ 로 조정된 후 일반적인 토양경정시 혼입될 수 있는 깊이인 15cm와 30cm의 2단계의 칼럼을 제작한 후 담수깊이를 3cm로 고정된 포화투수특성을 조사하였다. 그림 3-5에서 보는 바와 같이 유기물함량이 증가함에 따라 투수계수는 15cm와 30cm 모두 급격히 감소하여 6%의 유기물이 혼합된 토양 칼럼의 경우 0%의 칼럼에 비해 각각 약 1/30과 1/65 정도 감소하였다. 이와 같이 유기물의 혼합량이 증가됨에 따라 투수특성이 변하는 요인을 알아보기 위하여 Ap층(양토) 토양에 유기물을 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6%로 혼합한 후 pF2.5와 pF4.2에서 수분 함유량을 조사하였다.

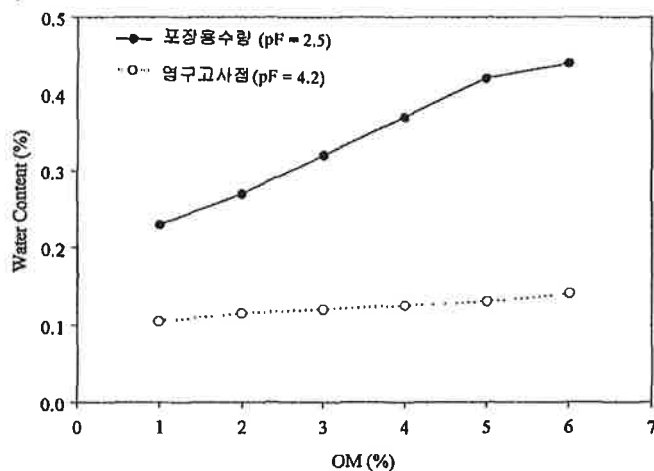


그림 3-5. 토양내 유기물 함량별 수분 보유 특성

유기물함량별 부피대비 토양수분함량은 pF2.5의 경우 약 23%(유기물함량 0%)에서 약 47%(유기물함량 6%)로 증가하였으며 유기물 함량이 5%이상의 경우 수분함량비율의 증가속도가 감소하였다. 그리고 pF4.2의 경우 조사된 유기물함량 전체에서 증가속도는 매우 미미하였다. 따라서 이와 같은 결과로부터 유기물함량변화에 따른 수분보유능은 유기물함량과 밀접한 관계가 있는 것으로 판단된다. 따라서 유기물함량별 토양내 수용성 형태의 이동의 거동 특성은 다른 것으로 판단된다.

그림 3-5에서 포장용수량과 영구위조점 사이의 수분함량을 가용수분함량(Plant available water:PAW)라 하며 토성별 기용수분함량은 표 3-12에서 보여주는 바와 같이 일반적으로 점토의 함량이 증가함에 따라 증가하며 이외에 그림 3-5에서 조사한 바와 같이 유기물함량도 PAW에 영향을 미치는 주요 원인이다.

표 3-12. 토성별 식물가용수분함량(PAW)의 특성

Textural classes	Available water (cm m <sup>-1</sup> )
Coarse sands	5.0-6.7
Fine sands	6.7-8.5
Loamy sands	8.8-9.0
Sandy loams	9.9-11.8
Fine sandy loams	12.2-17.0
Silt loams	17.0-17.9
Silty clay loams	15.4-17.0
Silty clay	12.7-13.5
Clay	11.1-12.6

한편 토성별 즉 점토, 미사, 모래 함량에 따른 토양의 물리성변화와 수분변화를 Canada Soil Survey staff가 제작한 Soil Texture Triangle과 Hydraulic Properties 계산 모델에 따르면 다음과 같이 정의할 수 있다.

표 3-12 토양의 물리성과 수분변이 특성

Percent Sand	57.5
Percent Clay	29.7
Percent Silt	12.8
Texture	Sandy Clay Loam
<u>Wilting point</u> (cm water/cm soil)	0.17
<u>Field capacity</u> (cm water/cm soil)	0.27
<u>Bulk density</u> (g cm <sup>-3</sup> )	0.38
Saturation (cm water/cm soil)	0.48
Sat. hydraulic conduct. (cm/hr)	0.27
<u>Available water</u> (cm water/cm soil)	0.1
Percent Sand	30.5
Percent Clay	33.3
Percent Silt	36.2
Texture	Clay loam
<u>Wilting point</u> (cm water/cm soil)	0.19
<u>Field capacity</u> (cm water/cm soil)	0.33
<u>Bulk density</u> (g cm <sup>-3</sup> )	1.31
Saturation (cm water/cm soil)	0.5
Sat. hydraulic conduct. (cm/hr)	0.31
<u>Available water</u> (cm water/cm soil)	0.14
Percent Sand	12.2
Percent Clay	33.1
Percent Silt	54.7
Texture	Silty Clay Loam
<u>Wilting point</u> (cm water/cm soil)	0.18
<u>Field capacity</u> (cm water/cm soil)	0.36
<u>Bulk density</u> (g cm <sup>-3</sup> )	1.28
Saturation (cm water/cm soil)	0.52
Sat. hydraulic conduct. (cm/hr)	0.47
<u>Available water</u> (cm water/cm soil)	0.17

Percent Sand	54.7
Percent Clay	27.5
Percent Silt	17.8
Texture	Sandy Clay Loam
<u>Wilting point</u> (cm water/cm soil)	0.16
<u>Field capacity</u> (cm water/cm soil)	0.26
<u>Bulk density</u> (g cm <sup>-3</sup> )	1.39
Saturation (cm water/cm soil)	0.48
Sat. hydraulic conduct. (cm/hr)	0.34
<u>Available water</u> (cm water/cm soil)	0.1
Percent Sand	40.3
Percent Clay	16.3
Percent Silt	43.4
Texture	loam
<u>Wilting point</u> (cm water/cm soil)	0.11
<u>Field capacity</u> (cm water/cm soil)	0.25
<u>Bulk density</u> (g/cm )	1.44
Saturation (cm water/cm soil)	0.46
Sat. hydraulic conduct. (cm/hr)	1.31
<u>Available water</u> (cm water/cm soil)	0.14
Percent Sand	23.3
Percent Clay	13.7
Percent Silt	63.0
Texture	Silt Loam
<u>Wilting point</u> (cm water/cm soil)	0.1
<u>Field capacity</u> (cm water/cm soil)	0.28
<u>Bulk density</u> (g/cm )	1.43
Saturation (cm water/cm soil)	0.46
Sat. hydraulic conduct. (cm/hr)	2.05
<u>Available water</u> (cmwater/cm soil)	0.18

상기 표에서 보여주는 바와 같이 토양내 점토의 함량이 증가하게 되면 상대 수리전도도는 Sandy Clay Loam의 경우 최소 값인  $0.27 \text{ cm hr}^{-1}$ 를 나타내고 Silt Loam의 경우 최대  $2.05 \text{ cm hr}^{-1}$ 로 증가하며 이와 같이 토성, 용적 밀도 등에 따라 토양내 수분 이동의 변화는 다양하다.

## 제 4 장 토양 물리성 변화와 토양구조 개선제

### 제 1절 서 론

토층이 단단하여 여러 가지로 장애가 되는 토층을 주로 경반층 토양이라고 불려왔다. 이를 다시 세분하면 점토가 많아서 단단한 claypan, 미사나 세사로 이루어진 건조시에는 단단하고 물에 쉽게 부서지는 fragipan, 그리고 산화철, 유기물, 탄산칼슘 등이 토양입자 사이에 응고되어 건조되거나 물속에서도 항상 단단한 duripan, 경운에 의하여 형성된 plowpan으로 나눌 수 있다.

시설재배지의 경우 토양내 수분의 이동은 혼합 공극특성에 따라 Macro-, Meso-, Micropore 이동을 한다. 그러나 다경운시 그림 4-1에서 보여주는 것처럼 혼합 공극수 흐름의 발생은 미미하고 층간에 따라 특정 공극수의 이동이 주로 발생한다.

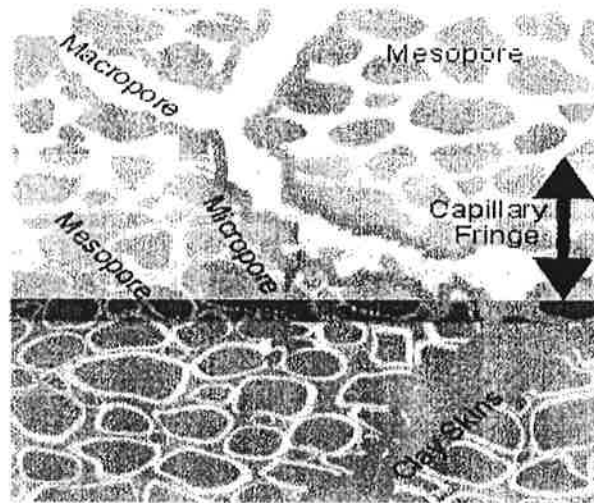


그림 4-1. 토양내 공극특성에 따른 수분 이동 종류

한편 토층구조개선(Reformation of Soil structure)이란 관행적인 경운 깊이 이상에 대한 경운을 말하는 데 심경, 심토파쇄, 혼층, 폭기식 심토파쇄 등 토양의 반전, 작업깊이, 정도에 따라 선택할 수 있으나 처리방법간에 따라 지속성에 많은 차이가 있다 (표 4-1).

심토반전구의 경우 처리시 완전히 부수어진 토양이라고 하더라도 2년간 영농활동 및 기타 답압에 의하여 오히려 무처리구보다 표토의 토양가밀도가 더욱 높아졌으며 경도는 입단 및 구조 파괴에 따라 여전히 낮았던 것으로 나타났다 (김 등, 1999).

표 4-1. 계절별 심층토의 용적밀도 변화 특성

Treatments	Apr. 99	Jul. 99	Sep. 99	Apr. 00	Jul. 00	Oct. 00	Average
Check	1.54	1.56	1.47	1.56	1.46	1.45	1.51
Reversion	1.25	1.31	1.24	1.43	1.32	1.39	1.32
Subsoiling	1.38	1.47	1.39	1.46	1.41	1.42	1.42
Explosive subsoiling	1.42	1.36	1.44	1.46	1.35	1.35	1.40
Drainage	1.31	1.33	1.44	1.38	1.34	1.36	1.36

한편 처리별 경도분포 (표 4-2)를 보면 무처리에 비하여 표토의 경작깊이인 15cm 이하에서는 처리간 차이가 없었으나 토양물리성 개선 범위인 15~40cm 토심의 토양경도 분포상의 잔효는 심토반전 > 심토파쇄 > 암거배수 > 무처리의 순으로 남아 있었으며 이와 같은 사실은 토층을 부드럽게 하는 시설내 물리성 개선이 결국 토층내 모세관을 교란시킴으로서 토양수분의 이동을 용이하게 하나 시간이 지남에 따라서 처리전의 물리성 상태로 돌아간다. 따라서 토양 개선시 토양구조의 회귀를 방지하는 구조개선 작업이 이뤄져야 한다.



표 4-2. 토양처리 2년 후 토양의 물리적 특성 변화

Treatment	Soil depth (cm)	Bulk density (mg cm <sup>-3</sup> )	Hardness (mm)	Permeability (m/s x 10 <sup>-4</sup> )
Check	10~20	1.19	15.0	1.00
	30~40	1.45	26.5	
Reversion	10~20	1.24	14.3	1.17
	30~40	1.39	23.5	
Subsoiling	10~20	1.16	15.8	1.05
	30~40	1.42	24.5	
Explosive subsoiling	10~20	1.19	11.8	1.24
	30~40	1.35	26.2	
Drainage	10~20	1.17	15.3	1.24
	30~40	1.36	25.3	

이러한 방지 방법 중의 하나는 항시 고정 공극구조를 유지하게 하는 방법인데 표 4-3의 공극분류에서 Mesopore 이상의 공극을 유지하여야 한다. 또한 토양내 일정한 공극을 유지하기 위해서는 기계적 하중에 견딜 수 있는 인장강도와 마모력을 가져야 하며 입자 배열에 따른 입자간 간격을 유지해야 한다.

표 4-3. 공극 분류 시스템

등급	차등급	등급한계(μm)
Macropore	Coarse	> 5000
	Medium	2000-5000
	Fine	1000-2000
	Very Fine	75-1000
Mesopore	-	30-75
Micropore	-	5-30
Ultramicropore	-	0.1-5
Cryptopore	-	<0.1

이러한 목적을 달성하기 본 연구에서는 퍼라이트(그림 4-2)를 이용하여

심층토 구조개선을 하고자 하였다.

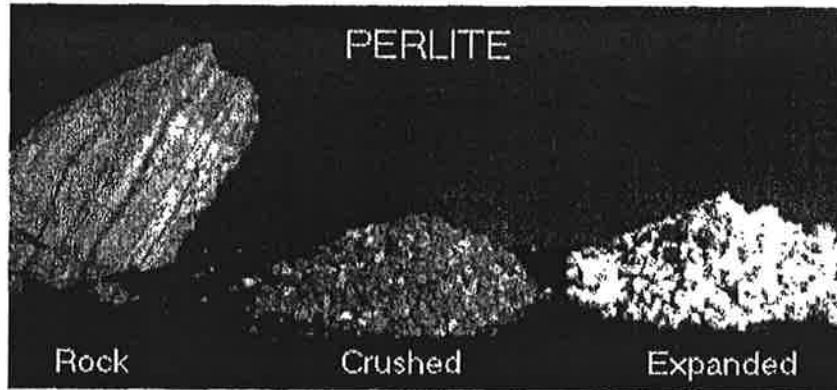


그림 4-2 펄라이트 성상

펄라이트는 진주암 이라는 화산활동으로 생성된 천연광물을 871 °C 이상의 고온으로 팽창하면 4배 내지 20배까지 체적이 팽창하여 초경량 다각질의 백색입자인 펄라이트가 생성된다. 이러한 팽창은 원래 진주암 암석에 2% 내지 6%의 물분자가 결합으로 형성되며 이러한 물분자가 기화하게 되면 여기에 미세한 작은 기공이 형성된다.

표 4-4. 펄라이트의 기초 구성원소

Silicon	33.8
Aluminum	7.2
Potassium	3.5
Sodium	3.4
Iron	0.6
Calcium	0.6
Magnesium	0.2
Trace	0.2
Oxygen (by difference)	47.5
Bound Water	3.0
Total	100.0

고온 팽창 처리된 펄라이트의 색깔은 흰색이며 pH는 6.5 - 8.0, 그리고 용적밀도는 0.032 내지 0.4로 매우 경량이다. 비열은 387 J/kg 일반 점토광물에 비해 낮은 편이다.

표 4-5. 펄라이트의 기초 특성

Color	White
Refractive Index	1.5
Free Moisture, Maximum	0.5%
pH (of water slurry)	6.5 - 8.0
Specific Gravity	2.2 - 2.4
Bulk Density (loose weight)	32-400 kg/m <sup>3</sup>
Mesh Size Available	4-8 mesh and finer
Softening Point	871-1093 °C
Fusion Point	1260-1343 °C
Specific Heat	387 J/kg
Thermal Conductivity at 24°C	0.04-0.06 W/m
Solubility .....Soluble in hot concentrated alkali and HF Moderately soluble (<10%) in 1N NaOH Slightly soluble (<3%) in mineral acids (1N) Very slightly soluble (<1%) in water or weak acids	

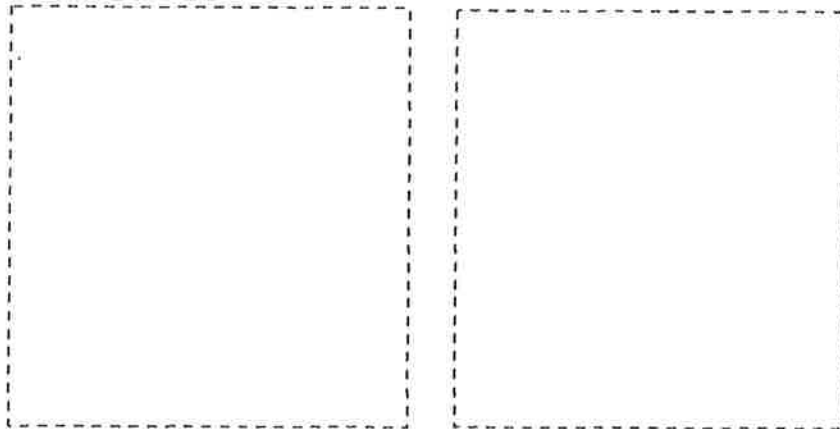


그림 4-3. 펄라이트의 XDR 사진 (5000배)

## 제 2절 재료 및 방법

### 1. 실험방법

#### 가. 수분보유력

입자의 크기가 다른 펄라이트 5종류(SP-1, SP-2, SP-3, SP-4, SP-5)와 펄라이트를 48시간 동안 증류수를 이용하여 포화시킨 후 각각의 토양, A(식토), B(식양토), C(양토), D(사양토), D(사토)를 사용하였다.

표 4-6. 수분보유력 측정에 사용된 토양과 펄라이트

토양	펄라이트
A(식 토)	SP-1
B(식양토)	SP-2
C(양 토)	SP-3
D(사양토)	SP-4
D(사 토)	SP-5

표 4-6의 시료를 표 4-7에서 보여주는 펄라이트와 각각의 토양을 6개의 비율로 분리 혼합하여 수분보유력을 측정하였는데 다시 증류수로 포화시킨 후 pF1.5와 2.0은 Pressure Chamber를 이용하여 48시간과 60시간 정도 가압법으로 pF 3.0과 4.2는 공식 1에 따라 회전수를 정한 후(표 4-7) 각각의 펄라이트 대 토양의 비율별로 평형에 도달하기까지의 원심분리 시간을 조사하여 이를 토양수분 추출 표준시간으로 정하였다.(표 4-8)

$$pF = \log H = 2 \log n + \log h + \log(r_1 - 0.5h) - 4.95 \quad (\text{공식 1})$$

여기서  $H =$  수두(Hydraulic head)

$n = \text{회전속도(rpm)}$

$r_1 = \text{회전축에서 토주의 중심까지의 거리}$

$r_2 = \text{회전축에서 토주의 밑바닥까지의 거리}$

$h = r_2 - r_1$

표 4-7. pF값에 따른 회전속도(rpm)

pF	n(rpm)
3.0	2,900
4.2	11,500

표 4-8. 토양과 펄라이트 혼합비율과 pF3.0과 4.2에서 원심분리시간

처리번호	토양	펄라이트	원심분리시간(분)	
			pF 3.0	pF4.2
1	100	0	105	100
2	90	10	90	90
3	70	30	85	80
4	50	50	80	70
5	25	75	70	65
6	0	100	60	60

각각의 혼합시료를 원심분리기(Hanil 2000)을 사용하여 정해진 일정시간 동안 원심분리 후 시료를 전기오븐건조기에서 105℃에서 12시간 건조하여 감소된 수분의 양을 중량비와 부피비로 수분보유력(공식 2, 3)을 환산하였다.

$$\text{중량비 수분보유력}(\theta_w) = (W_1 - W_2) / W_2 \times 100 \quad (\text{공식 } 2)$$

$$\text{부피비 수분보유력}(\theta_v) = (W_1 - W_2) / V \times 100 \quad (\text{공식 } 3)$$

여기서  $W_1$  = 원심분리 후 시료의 무게  
 $W_2$  = 105℃에서 건조한 시료무게  
 $V$  = 시료의 부피를 의미한다

본 실험은 가압법과 원심법 모두 3반복으로 실시하였으며 동일 처리-반복간 시료의 무게는  $\pm 0.1g$  이내의 오차를 유지하였다. 그러나 시료분석간 오차의 편차가 높을 경우 다시 2반복으로 실시하였다. 타사 제품의 경우도 동일한 방법으로 수분보유력을 측정하였다.

#### 나. 수리전도도수계수

수리전도도 실험은 직경 5cm 길이 20cm 원형 아크릴 칼럼에 증류수에 48시간 포화시킨 펄라이트(SP-1, 2, 3, 4, 5, 6 GP-6)를 아크릴 칼럼에 10cm 길이로 균일하게 충전한 후 충전된 펄라이트 상층부에 펄라이트가 부상하지 않도록 스테인리스 원형판을 올려놓은 후 수두를 5cm로 유지하면서 수리전도도를 2반복으로 측정하였다.

#### 다. 펄라이트 화학적 특성 분석

시료제조방법은 농촌진흥청 토양조사법과 한국공업규격기준(KSF)분석법을 이용하여 조사하였다. 펄라이트의 입경분리는 ASTM에 따라 표준체를 사용하여 분리하였으며 전기 전도도(Electrical Conductivity : EC) 및 pH 분석은 물에 의한 1:5 용출법, 양이온치환용량은 Ammonium Acetate법에 의해 분석하였다. 각각의 분석은 3반복으로 실시하였으며 통과율 등은 평균치를 구하여 평균간 범위로 통과율을 결정하였다.

### 제 3절 결과 및 고찰

본 연구에 사용될 펄라이트의 입경분포를 조사한 결과 완제품 펄라이트 모두가 입경 5mm이내의 범위에 속하였으며 약 63 %가 1.2 mm이하로 조사되었다.

표 4-9. 생산된 펄라이트의 입경분포

구 분		통과율(%)	비 고	
단위용적중량 (kg/l)		0.103±0.005		시험방법 KS F 3701 5반복 평균치
입도 분포	통과용적 (%)	5 mm	100.0±0.0	
		2.5 mm	89.2±1.4	
		1.2 mm	63.4±3.1	
		0.6 mm	27.5±5.9	
		0.3 mm	18.7±4.5	
		0.15mm	13.3±3.1	

본 연구에 참여기업으로 참여하는 (주)삼손은 펄라이트를 표 4-9와 같이 4가지 제품을 생산하고 있어 이에 대해 조사하였다.

표 4-10. 포장 단위 펄라이트의 입경 분류

Mesh	mm	제품에 따른 입경 비율(%)			
		P1	P3	P5	P7
6	3.35	22.6	-	-	-
8	2.36	58.2	4.2	-	-
16	1.18	16.6	70.7	5.6	0.2
30	0.6	2.0	15.8	57.0	22.9
50	0.30	-	4.6	19.8	46.3
100	0.15	-	2.3	6.9	17.6
>100	<0.15	0.6	2.4	10.7	13
계		100	100	100	100

상기 표에서 보여주는 바와 같이 P1은 2.36 내지 1.18 mm 직경의 펄라이트 약 58%를 차지하고 있었고 P7의 경우 0.6 mm 이하가 약 76%를 차지하고 있다. 따라서 본 소재를 토양구조 개선 소재로 사용하고자 할 시 혼합 비율에 따른 공극크기와 분포비율을 고려해서 조절해야 할 것으로 판단되었다.

펄라이트의 화학성을 조사한 결과 펄라이트의 입경이 증가함에 따라 pH가 증가하는 경향을 보여주었으며 반면 CEC는 감소하는 경향을 보였다. 이로부터 추정컨대 펄라이트의 CEC는 펄라이트 입경에 따른 총표면적과 정의 상관관계에 있다고 할 수 있다. 수용성이온을 조사한 결과 조사된 이온중 Na가 가장 많이 용출되었으며 나머지 이온들은 1/4이하의 농도로 조사되었다. 따라서 토양과 혼합비율에 따라 수용성 상태로 존재하는 Na 이온에 의한 토양입단의 분산도 우려된다. 따라서 토양과 혼합시 혼합비율에 대한 입단분산 정도를 측정하는 것이 바람직하다.

표 4-11. 펄라이트의 화학적 특성

Size (mm)	pH (1:5)	EC (dS/m)	CEC (cmol <sub>c</sub> /kg)	Soluble cation(mg/kg)			
				Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>
0.00-1.70	7.41	0.23	51.6	1.60	7.00	0.58	1.67
1.70-3.35	7.79	0.17	50.4	0.71	4.50	0.31	0.90
3.35-4.75	7.82	0.20	41.2	0.60	5.40	0.36	1.20

펄라이트의 수분보유력 측정시험 결과 조사된 대조제품인 타사제품 1, 2, 3을 (주) 삼손 펄라이트의 펄라이트 제품 SP-1, 2, 3, 4, 5와 비교 결과 (표 4-12) 수분보유력을 부피로 기준하여 측정시 동일 시료내에서는 pF 값이 증가될수록 수분보유력은 급격히 감소하였으며 대조 1과 2가 pF 1.5



이하의 범위에서 조사된 SP series 중 4와 5에 근접한 수분보유력을 보여 주었고 pF 범위가 2.0이상일 경우 SP-4와 5의 약 60% 수준의 수분보유력을 가지는 것으로 나타났다. 따라서 전체 수분보유력으로 평가를 하면 SP-4와 5가 타사 제품에 비해 상대적으로 우수한 수분보유력을 가지는 것으로 평가되며 이는 제품간의 차이가 있으므로 최종제품 선택시 제품의 규격을 고려해야 할 것으로 판단된다.

표 4-12. 대조 제품과 SP series 수분보유력 비교분석표

시 료	수분보유력(v%)				
	0	1.5	2.0	3.0	4.2
대조 1	53.24	46.53	22.17	14.68	4.89
2	73.24	69.80	27.62	15.84	5.35
3	28.36	26.73	18.05	10.05	3.25
SP-1	35.42	29.98	23.21	19.10	8.18
SP-2	33.58	25.08	21.20	19.44	7.24
SP-3	40.04	36.70	24.96	18.26	5.69
SP-4	74.21	70.37	45.59	33.92	13.82
SP-5	78.12	75.35	42.16	24.36	12.68

특히 퍼라이트 시료 SP 시리즈는 SP-1에서 Sp-6으로 순위가 이행됨에 따라 퍼라이트의 평균입경이 작아지는 제품이었다. 따라서 동일 pF 범위에서 수분 보유력 감소는 퍼라이트의 입경이 증가됨에 따라 상대적 공극크기가 증가할 뿐만 아니라 동일 부피내 입자 표면적도 감소하므로 토양내 존재하는 수분을 유지하는 표면장력이 감소하여 중력수의 상대적 비율이 증가하게 된다. 이러한 결과로 동일 pF 범위에서 수분보유력은 퍼라이트의 비율이 증가하면서 감소되는 것으로 추정된다.

한편 질량비로 환산한 수분보유력은 펄라이트의 혼합비율이 증가하면 증가되는 경향을 보이고 있는데 이는 펄라이트의 비중이 토양에 비해 매우 낮아 동일 부피 대 질량과 비교시 상대 토양수분의 비율이 증가하기 때문이다.

본 연구는 펄라이트를 이용하여 토양구조를 개선하고자 하는 것이다. 따라서 시설재배지 토양을 대상으로 하여 수분보유력을 조사하였다. 표 4-12는 수분보유력을 조사하기 위하여 토양과 펄라이트를 혼합한 비율이다. 여기에 사용된 토양은 식양토였으며 펄라이트의 입경이 증가됨에 따라 동일한 혼합비율에서의 용적밀도는 감소하며 한편 동일한 입경의 펄라이트 혼합비율이 증가됨에 따라 용적밀도는 100% 토양의 경우  $1.18 \text{ g cm}^{-3}$  이었으나 순수 펄라이트의 경우 용적밀도는 약  $0.25 \text{ g cm}^{-3}$  정도로 급격히 감소함을 알 수 있었다. 그러나 펄라이트만의 용적밀도 변화를 살펴보면 0.5 mm이하 입경의 경우 용적밀도가  $0.25 \text{ g cm}^{-3}$  이었으나 0.5-1mm의 경우 용적밀도는 0.21 정도로 감소하다가 2mm 이상으로 펄라이트의 입경이 증가됨에 따라 용적밀도는  $0.35 \text{ g cm}^{-3}$ 으로 다시 증가하는 경향을 보였다.

그리고 조사된 토양과 펄라이트 혼합별 수분보유력 변화를 살펴보면 (표 4-13) 시료 A는 식토, B는 식양토, C는 양토이며 이를 펄라이트와 각종의 비율로 혼합하여 조사한 결과 펄라이트의 혼합비율이 증가하면 수분보유력은 감소하는 경향을 보이거나 D(사양토)와 E(사토)의 경우 혼합비율이 증가하면 수분보유력 또한 증가하는 경향을 보여주고 있다. 일반적으로 A(식토)에서 E(사토)로 갈수록 점토함량이 낮아질 뿐만 아니라 수분보유력에 영향을 미치는 미세공극의 비율도 낮아져 수분보유력은 감소하게 된다.

그리고 표 4-13와 펄라이트(재품명 :파라트)의 입경분리를 달리하여 식양토와 0, 25, 50, 75, 100 % 비율로 혼합한 후 용적밀도를 조사한 결과 (그림 4-5) 펄라이트의 혼합비율이 증가되어 25% 이상 됨에 따라 용적밀도는 약 1.5

에서  $0.3 \text{ g cm}^{-3}$  급격히 감소하는 경향을 보여 주었다. 그러나 이 용적밀도 변화는 단순 조사로 표 4-13에서 조사된 결과와 비교는 어렵지만 퍼라이트의 혼합비율이 증가됨에 따라 용적밀도는 감소한다는 점에서 동일하다.

표 4-13. 식양토 대 퍼라이트 입경 및 혼합비율별 용적밀도 변화

구분	토양	퍼라이트 혼합비			
		100%	25%	50%	75%
< 0.5mm	92.084	80.705	77.681	70.653	19.776
	92.257	82.069	81.881	72.299	19.131
	93.108	83.146	80.079	72.486	20.298
평균	92.483	81.97333	79.88033	71.81267	19.735
B.D	1.1845	1.049931	1.023123	0.919791	0.25277
0.5-1mm	92.084	78.496	68.471	58.986	17.267
	92.257	78.536	71.152	61.099	16.391
	93.108	80.951	72.924	62.662	16.362
평균	92.483	79.32767	70.849	60.91567	16.67333
B.D	1.1845	1.016044	0.907448	0.78022	0.213555
1-2mm	92.084	82.706	75.195	60.738	19.25
	92.257	79.121	79.79	61.768	19.634
	93.108	79.901	75.251	61.832	19.904
평균	92.483	80.576	76.74533	61.446	19.596
B.D	1.1845	1.032033	0.982969	0.787012	0.250989
2mm <	92.084	75.502	70.099	65.834	26.641
	92.257	77.069	73.141	59.792	27.762
	93.108	78.06	71.633	66.591	28.442
평균	92.483	76.877	71.62433	64.07233	27.615
B.D	1.1845	0.984656	0.917379	0.820651	0.353698

그러나 본 실험의 경우 혼합된 퍼라이트의 입경이 SP - 1, 2, 3보다 SP - 4, 5가 매우 작으므로 이들의 혼합비율이 높을수록 A(식토), B(식양토), C(양토)혼합 시료의 대공극 (Macropore)비율을 증가시킬 뿐만 아니라 단위 부피당 입자표면적이 감소하게 되며 D(사양토)와 E(사토)의 경우는 중공극

(Mesopore) 이하의 공극비율이 증가하여 상대적으로 토양수분을 흡착시키는 단위 입자표면적이 증가되어 상대수분보유력이 증가되는 것으로 추정된다.

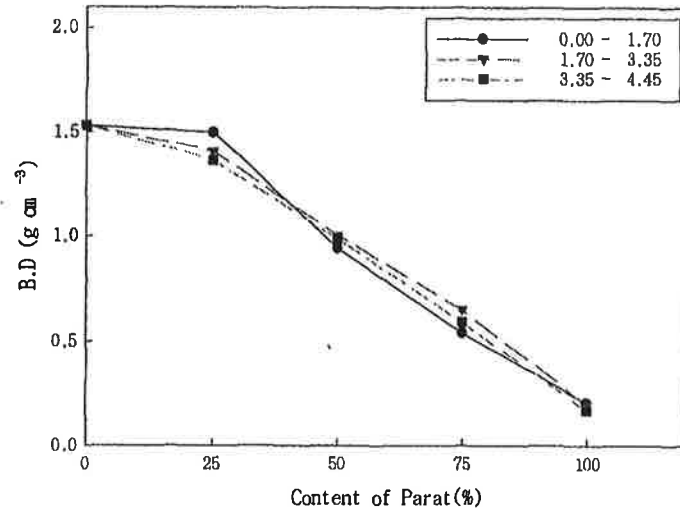


그림 4-5. 식양토와 퍼라이트의 혼합 비율별 용적밀도 변화

이외에 수분보유력에 영향을 미치는 요인으로는 팽창된 퍼라이트 자체의 내부 미세공극 (internal lattice layer)을 추정할 수 있는데 이들 내부 공극은 직접 수분과 접촉하여 수분을 흡수하는 역할을 하게 된다. 따라서 상대 표면적의 증가는 수분보유력을 증가시키게 된다.

표 4-14. 토양과 퍼라이트 혼합비율별 수분보유력 변화

시 료	수분보유력(v%)				
	0	1.5	2.0	3.0	4.2
A-1	56.91	42.89	35.32	25.33	15.13
2	55.08	42.34	33.96	24.25	14.15
3	52.48	41.80	33.45	23.23	13.47
4	49.66	38.24	32.90	23.16	12.75
5	42.14	37.12	30.95	21.47	10.02
6	35.42	29.98	23.21	19.10	8.18

B-1	52.14	50.04	39.66	24.03	13.04
2	54.21	42.87	35.19	23.80	12.50
3	52.38	42.49	31.90	21.75	10.54
4	50.04	41.96	29.43	21.29	10.20
5	44.21	40.21	24.94	20.02	10.02
6	33.58	25.08	21.20	19.44	7.24
C-1	58.53	46.10	40.48	39.32	21.75
2	57.62	45.90	38.24	30.27	23.74
3	54.21	44.09	37.88	29.12	20.56
4	48.66	43.56	36.15	28.07	15.13
5	43.28	38.97	27.58	25.19	10.41
6	40.04	36.70	24.96	18.26	5.69
D-1	45.71	31.56	27.84	18.03	9.54
2	60.33	32.82	30.02	20.69	9.97
3	58.69	36.52	30.40	21.25	11.83
4	57.64	44.52	34.83	21.99	12.11
5	68.42	51.99	37.19	25.86	12.44
6	74.21	70.37	45.59	33.92	13.82
E-1	43.71	21.22	3.15	6.73	2.47
2	44.18	26.12	4.98	7.85	2.50
3	46.49	28.03	8.55	9.62	3.45
4	55.18	37.31	21.51	10.00	3.55
5	60.12	49.05	36.09	19.71	3.85
6	78.12	75.35	42.16	24.36	12.68

그리고 표 4-15에서는 각각의 토성과 Sp15 퍼라이트 혼합비율별 수분보유력을 조사한 것이다. 일반적으로 수분보유력은 토양내 점토함량이 증가되면 증가될수록 수분보유력이 증가됨을 알 수 있었다. 그리고 퍼라이트가 혼합된 수분보유력 중 최대 수분보유력은 90% 식토와 10%의 퍼라이트가 혼

합되었을 때 약 38% 정도의 수분을 유지하는 것으로 조사되었다.

표 4-15. 토성별 펄라이트 혼합비율에 따른 수분보유력 변화

혼합비		수분보유력(Vol %)			유효수분율
		pF			(Vol %)
토양	펄라이트	1.5	2.0	4.2	$\Delta pF(1.5 - 4.2)$
사토	0	6.08	4.63	2.83	3.25
사토	10	8.72	5.27	4.45	4.27
사토	30	12.69	7.94	6.40	6.29
사토	50	15.40	10.39	8.18	7.22
사양토	0	15.80	11.42	9.24	6.56
시양토	10	22.81	15.69	9.56	13.25
사양토	30	26.93	19.27	11.82	15.11
사양토	50	35.30	15.19	12.87	22.43
양토	0	44.51	44.20	10.83	13.25
양토	10	42.61	41.19	11.46	15.11
양토	30	40.62	39.93	11.92	28.8
양토	50	38.21	37.81	12.32	25.89
식양토	0	47.01	30.48	16.04	30.97
식양토	10	47.06	26.76	15.47	31.59
식양토	30	45.38	24.08	15.03	30.35
식양토	50	51.23	28.48	13.96	37.28
식토	0	53.81	38.28	16.25	37.56
식토	10	49.07	36.38	15.38	33.69
식토	30	46.94	32.90	15.38	31.56
식토	50	44.94	32.67	15.00	29.94

펄라이트는 미세공극을 가진 토양광물이다. 따라서 수분보유력은 펄라이트가 가진 미세공극을 채운 수분을 포함하는 경우를 생각할 수 있다. 따

라서 이러한 펄라이트의 미세공극에 따른 수분보유력을 조사하기 위하여 실내에서 시간별 펄라이트 중량수분함량을 조사한 결과 침전 후 15분 안에 최대 수분흡수량의 약 78%에 해당되는 수분이 펄라이트로 흡수가 되었고 최대 흡수량은 약 70시간 정도가 지나서야 도달하였다.

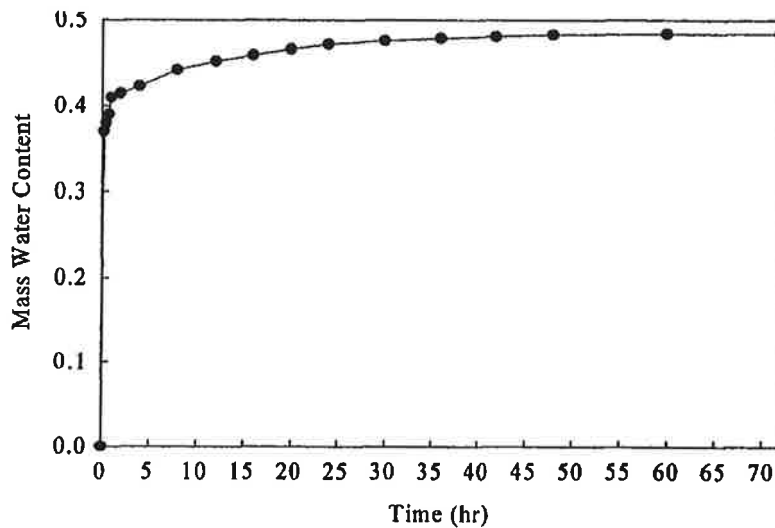


그림 4-6. 입자직경 1-2mm인 펄라이트 입자에 의한 수분 흡수력 변화 시험

표 4-15에서는 각각의 펄라이트 시료별 수리전도도 특성을 살펴보았다. 수리전도도는 물을 통과시키는 토양의 능력을 의미한다. 토양내 수분의 이동은 이동하는 물의 형태에 따라 포화상태와 불포화상태로 나뉘지며 이들 이동 특성은 물의 점성계수와 장력, 토양의 성질과 토양입자의 배열상태에 따른 공극의 크기, 그리고 지하수위 등과 같은 환경조건에 의해 크게 영향을 받는다. 일반적으로 포화상태의 토양수분이동은 다공성인 매체를 통한 투수량은 수두차(hydraulic potential gradient)와 매체의 단면적에 비례하고 매체의 길이에 반비례하는 Darcy의 법칙을(공식 4) 따른다.

$$q = k \times \frac{dh}{l} \quad (\text{공식 1})$$

q = 토양공극을 통과하는 물의 속도(cm/hr)

k = 수리전도도(cm/hr)

h = 수면으로부터 조사 토양의 하단까지의 수두차(cm)

l = 물이 통과하는 토양의 길이(cm)

반면 불포화상태의 토양수분이동은 토양내 부피수분함량에 따른 토양입자의 matric potential에 의해 수리전도도가 정해진다.

시료별 수리전도도를 조사한 결과 SP-1의 수리전도도가 가장 높았고 GP-6가 가장 낮은 수리전도도 값을 보여 주었는데 이는 각각의 조사된 펄라이트 입경과 비례함을 알 수 있었다. 따라서 이러한 수리전도도 특성을 가진 펄라이트를 토양에 혼합시 토양 원래의 수리전도도보다 혼합 후 수리전도도가 증가 될 것으로 추정하며 특히 혼합비율이 높아지면 질수록 수리전도도는 급격히 증가될 것으로 판단된다. 그리고 본 조사 결과를 우리나라 대표적 농지의 수리전도도 특성과(표 4-17) 비교시 GP-6를 제외한 조사된 모든 시료가 대표적 일반 농지의 Ap층부터 Bt층까지의 수리전도도보다 모두 높음을 알 수 있다.

표 4-16. 펄라이트 입경 크기별 수리전도도 특성

펄라이트 직경(mm)	수리전도도(cm/h)
2mm 이상	431.39
1-2	37.36
0.5-1.0	10.90
0.5mm 이하	3.82



표 4-17. 퍼라이트 시료별 수리전도도 특성

시료	수리전도도 (cm/h)
SP-1	431.39
SP-2	15.31
SP-3	30.90
SP-4	13.98
SP-5	37.36
SP-6	10.90
GP-6	3.82

표 4-18. 대표적 전(사양토)의 토양층별 포화수리전도도 특성

토층	깊이	점토함량 (%)	용적밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	수리전도도 (cm/h)	수리전도도범위 (cm/h)
Ap	0-15	12.6	1.28	12.4	0.8-70
E	15-30	11.1	1.44	7.9	0.5-18
E/B	30-45	14.5	1.47	0.93	0.53-1.33
Bt1	45-60	25.2	1.40	0.49	0.19-0.79
Bt2	60-75	27.2	1.38	0.17	0.07-0.27

양토와 퍼라이트의 비율 100:0, 75:25, 50:50, 25:75의 4가지 비율로 혼합하여 수리전도도를 조사한 결과 조사된 퍼라이트 중 입경이 가장 큰 3.35-4.75mm 범위의 퍼라이트의 수리전도도가 가장 높았고, 퍼라이트의 비율이 증가됨에 따라 수리전도도가 증가됨을 알 수 있었다.

표 4-19. 양토와 퍼라이트 혼합 비율별 수리전도도 변화 특성

입경	퍼라이트(%)				
	0	25	50	75	
0.00-1.70	K=cm/sec	0.00004	0.00003	0.00083	0.05518
1.70-3.35		0.00004	0.00002	0.00085	0.01503
3.35-4.75		0.00004	0.00016	0.00081	0.01869

토양내 수리전도도( $K_{sat}$ )는 토성, 토양 구조, 토양 입자의 배열형태, 토양 수 내 용존 물질의 종류와 농도 및 유기물 함량에 의해서 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서는 유기물 함량이 달리 혼합된 토양을 동일 용적밀도로 충전한 후 포화수리전도도( $K_{sat}$ )에 미치는 영향을 알아보았다. 유기물 함량에 따른 수리전도도( $K_{sat}$ )의 변화는 그림 4-7에 나타난 것과 같다.

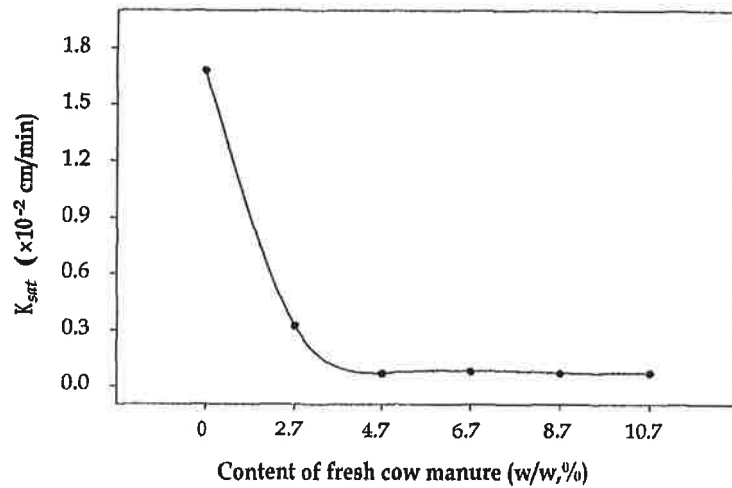


그림 4-7. 유기물 함유량에 따른 수리전도도 변화

본 실험에서 수리전도도( $K_{sat}$ )의 값은 유기물의 함량이 0%에서 4.7%로 증가될 때까지  $1.7 \times 10^{-3}$  cm/min에서  $8 \times 10^{-4}$  cm/min으로 급속한 감소를 나타냈으며 유기물함량이 4.7%를 넘어선 시점에서의 수리전도도( $K_{sat}$ )는  $0.8 \times 10^{-3}$  cm/min로 큰 변화는 보여지지 않았다. 일반적으로 토양에 유기물이 존재 할 경우 공극(Porosity)의 증가로 인한 수리전도도( $K_{sat}$ )는 증가하는 것으로 알려져 있다. 본 실험에서도 토양이 안정화되기 전까지는 수리전도도는 유기물 함량이 증가함에 따라 증가하는 경향을 보였으나 1 공극 수량이 용출되기 이전에 급격히 수리전도도는 감소하였다. 이는 추정컨대 상층

부에 유기물이 함께 혼합된 토양 중 점토와 같은 미세한 입자들의 하향이동(Eluviation)과 특정 깊이에서 급격한 수리전도도 감소와 지속적 수분 이동에 따른 저분자 유기물의 하향이동에 따른 공극 특성 등의 결과로 판단된다.

유기물이 처리된 토양에서의 수리전도도( $K_{sat}$ )를 시간에 따른 변화 값으로 나타내면 그림 4-8과 같다. 그림에서 보여지는 바와 같이 토양 내 유기물이 존재할 경우 토양중의 물의 이동성은 급격히 감소하는 경향을 나타내었다. 그러나 그러한 경향은 퍼라이트가 토양에 함유될수록 낮은 경향을 보임으로써 토양 내 이러한 토양 개량제로서의 퍼라이트가 유입시 토양 물리성의 완충작용을 증가시킬 것으로 판단된다.

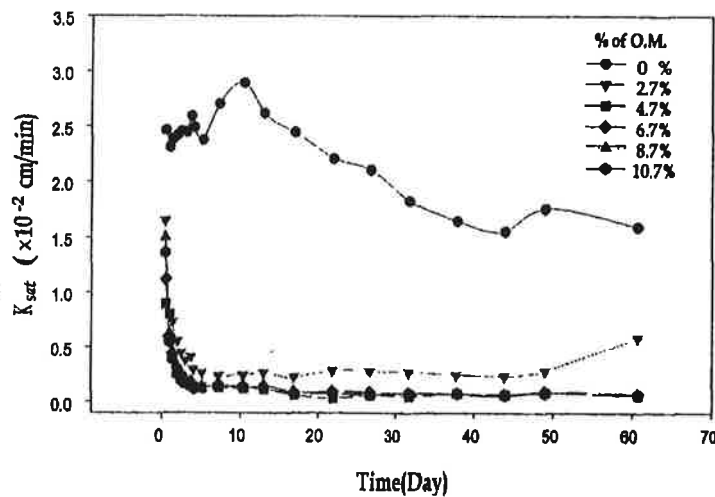


그림 4-8. 유기물함량과 시간별 수리전도도( $K_{sat}$ ) 변화

유기물 함량이 0%를 제외한 모든 처리구에서 수리전도도( $K_{sat}$ )가 안정화 될 때까지 소요되는 시간은 3일 이내이며 유기물 함량이 0%일 경우에는 약 30일정도가 수리전도도( $K_{sat}$ )의 안정화에 필요하게 된다. 따라서 이러한 결

과로 유기물에 의한 수리전도도의 영향은 포화상태에서 물의 흐름이 일어난 직후 3일 이내에 급속한 감소를 나타내며, 그 이상의 시간에 있어서 시간에 따라 큰 변화를 보이지 않아 유기물의 시용에 의한 표층토에서의 물질의 이동을 예측하는데 있어; 유기물이 존재하지 않는 토양에 비해서 보다 근접한 결과를 얻을 수 있으리라 여겨진다.

이는 그림 4-7에서 추론하였던 것처럼 공극 특성에 따른 토양내 물질 이동 특성은 대공극이 많은 유기물이 포함된 토양보다 미세공극이 많은 토양만의 칼럼에서 지속적으로 하향이동 및 토양입자배열이 진행되기 때문일 것으로 증명된다.

또한 각 처리구에서 용출되어진 용출액의 총 용출량을 시간별로 나타내면 그림 4-9와 같이 나타낼 수 있다.

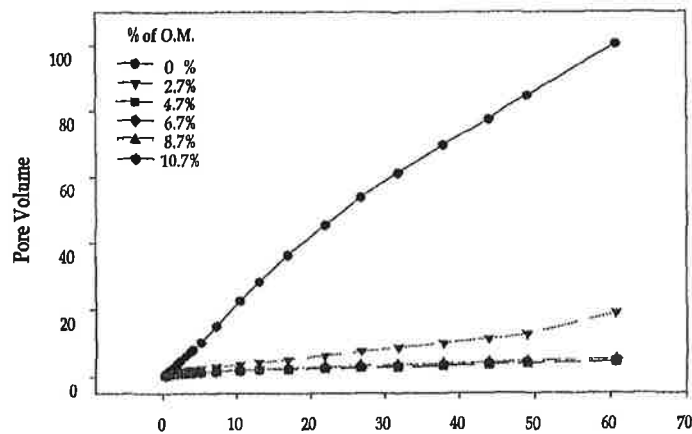


그림 4-9. 유기물 함량별 흡산 공극수량 변화

이때 0%와 2.7% 유기물을 함유한 처리구에서 용출된 용출액은 총 103.5과 18 pore volume 이었으며, 2.7% 이상의 유기물을 함유한 처리구에서 용출된 총 용출액의 부피는 총 8 pore volume 정도로 유기물 함량에 따른 수

리전도도( $K_{sat}$ )의 차에 의한 총 용출되는 용출액의 부피는 큰 차이를 나타낸다. 이를 유기물함량별 공극수량으로 비교해 보면 마이너스(-) exponential 곡선으로 나타난다. 그리고 토양만의 공극수량과의 차이만큼 수분은 토양 내에 집적되거나 이외의 곳으로 이동되어야만 한다. 즉 표층을 통과한 수분은 수직하향이 감소될 경우 수평이동을 하여 수분의 분포는 확산과 유사한 형태로 나타나게 될 것이다.

토양 대 퍼라이트 혼합비율별 수리전도도 변화 특성을 살펴본 결과 (그림 4-10) 토양 대비 퍼라이트의 함량이 75% 이상 혼합됨에 따라 수리전도도는 급격히 증가하는 경향을 보여주고 있다.

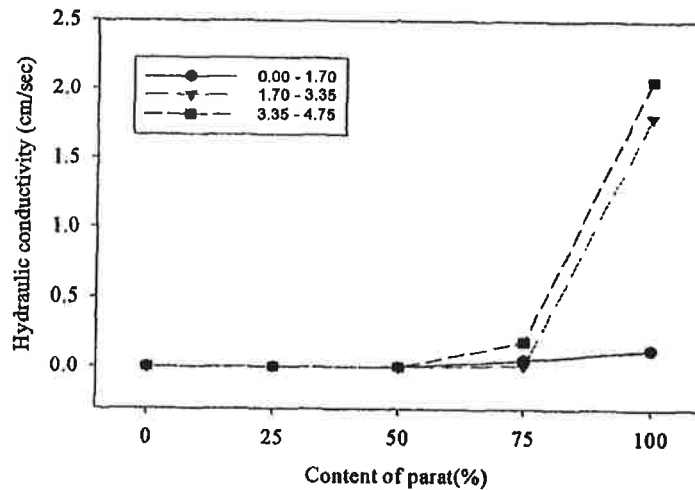


그림 4-10. 토양 대 파라트 혼합비율별 수리전도도 변화 특성

그리고 파라트의 입경별 수리전도도를 살펴보면 파라트의 입경이 1.7 mm 이하일 경우 파라트의 함량이 100%로 증가되어도 수리전도도의 변화는 크지 않으나 파라트의 입경이 1.7 내지 3.5 mm로 증가함에 따라 수리전도도는 파라트의 함량이 75% 이상 혼합 시 급격하게 증가되는 경향을 보여주고 있으며 3.35-4.75 mm 범위의 파라트도 유사한 경향을 보여주고 있다.

따라서 토양내에서 배수용 형태로 파라트를 사용시 최소 파라트의 입경은 1.75 mm 이상되어야 하며 혼합량은 약 75% 이상으로 조절하여야 한다. 그러나 실제 배수율이 파라트의 함량이 75% 이상일 경우 토양에 관수되는 모든 수분이 용탈되어 손실될 것으로 판단하기에 이에 대한 고찰이 필요하다.

한편 시설재배지의 경우 펄라이트의 사용은 일부층에 한정될 수 밖에 없다. 따라서 그림 4-11에서는 토양 10 cm 깊이에 펄라이트를 30, 40, 50%로 처리하고 유기물의 함량도 0, 2.5, 5.0% 처리 후 수리전도도를 조사하였다.

유기물이 처리되지 않은 펄라이트 혼합시 수리전도도는 펄라이트 처리량에 비례하여 수리전도도가 증가하는 경향을 보여주고 있으나 유기물의 함량이 2.5, 5.0%로 증가함에 따라 수리전도도는 급격히 감소하는 경향을 보여주고 있다.

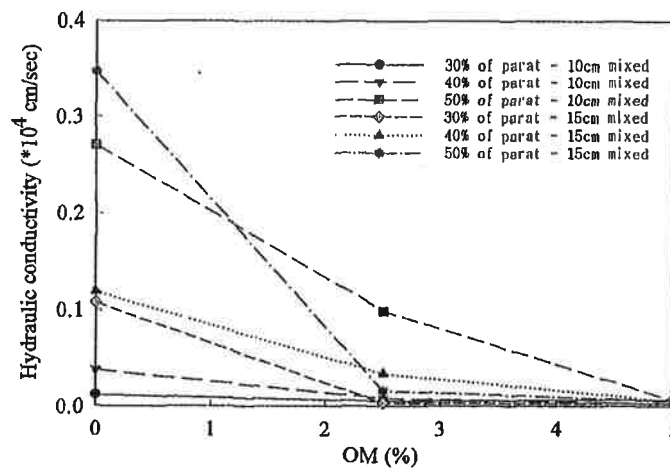


그림 4-11. 토양 10 cm 깊이에 처리된 펄라이트 함량별 수리전도도 변화

특히 5%의 유기물이 처리된 토양에서는 펄라이트 처리 효과를 발견할 수 없었으며 이는 펄라이트가 처리되지 않은 토양이 수리전도도보다 약 3

배 정도의 수리전도도를 보여주었다. 따라서 퍼라이트를 처리시 유기물의 처리함량을 반드시 고려하여야 할 것으로 판단된다.

퍼라이트 처리 깊이를 설정하기 위하여 유기물이 없는 상태에서 퍼라이트의 혼합비를 5단계로 나누어 처리 깊이를 10cm, 15cm, 20cm의 3단계로 처리한 후 수리전도도를 조사하였다 (그림 4-12).

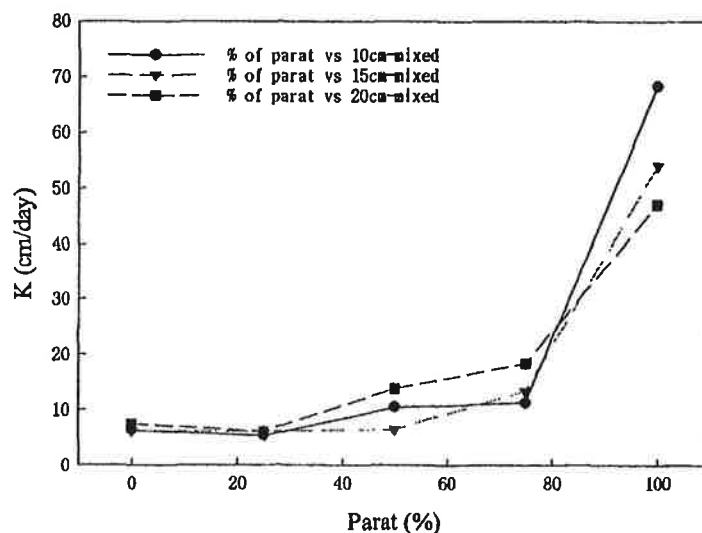


그림 4-12. 퍼라이트 처리 깊이별 수리전도도 변화 특성

그림 4-12에서 보는 바와 같이 퍼라이트의 혼합량이 0에서 100 %로 증가함에 따라 수리전도도는 증가하였으나 처리 깊이간 수리전도도의 차이는 크지 않았다. 그러므로 퍼라이트를 토양에 처리시 처리 깊이는 토양수분 배수와는 직접적인 상관관계가 없는 것으로 조사되었으며 단 처리량은 수리전도도와 밀접한 정의 상관관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 따라서 배수와 관련한 퍼라이트 처리시 퍼라이트 입경, 유기물 함량, 퍼라이트 처리량의 상관관계를 고려하여 처리하여야 할 것으로 판단된다.

각각의 토양 10, 15, 20 cm 깊이에 펄라이트 처리비율을 달리하여 수리전도도가 안정화되기까지의 소요되는 수분의 양을 공극수량으로 조사한 결과 10, 15, 20 cm 모두 펄라이트의 처리비율이 높아짐에 따라 공극수량도 증가됨을 알 수 있었다(그림 4-13, 14, 15). 이는 펄라이트의 처리 비율이 증가되면 될수록 토양내 공극의 분포가 달라지게 일정 공극의 분포로 도달하는데 시간이 소요되는 것으로 판단한다.

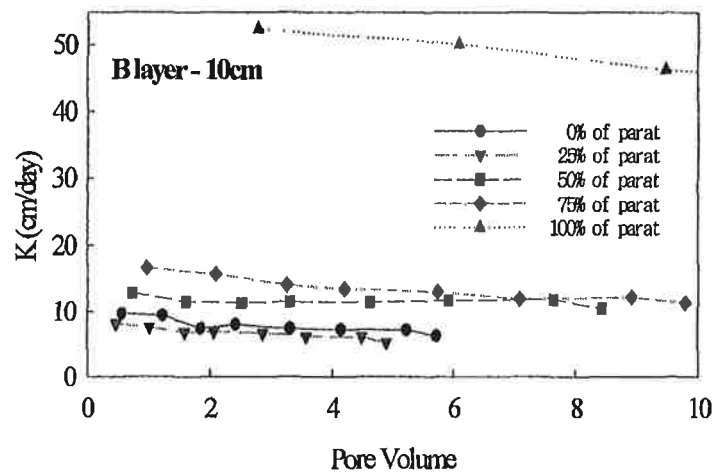


그림 4-13. B층 10cm 깊이에 처리된 펄라이트 비율별 수리전도도 변화

펄라이트 처리에 따른 용출수 변화 특성은 조사하기 위하여 30cm의 토양 칼럼은 만들어 유기물의 함량을 달리한 20cm 길이의 A층과 펄라이트의 혼합 비율이 다른 10cm 깊이의 B층의 혼재 2층 토주를 제작한 후 토주의 표면위 3cm 높이로 수두를 유지하면서 지속 관수하면서 토주의 하부로 용출되어 나오는 용출수의 EC와 양이온 중 K<sup>+</sup>의 농도를 공극수량으로 나타내었다(그림 4-16, 17). 시간에 따른 EC와 K<sup>+</sup> 이온의 농도는 비슷한 경향을 나타내었다.



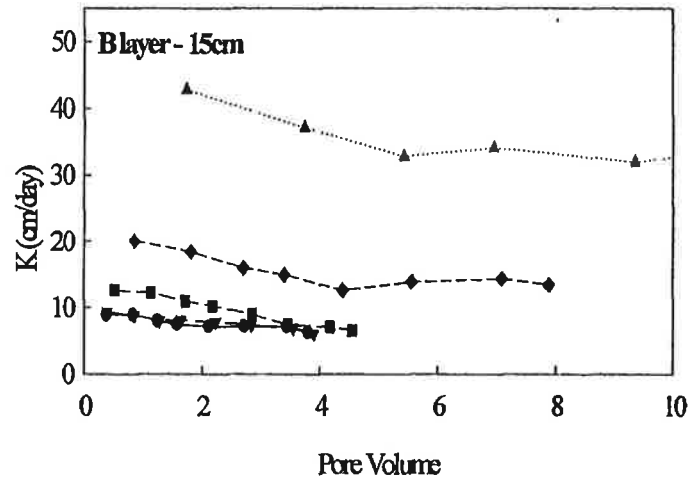


그림 4-14. B층 15cm 깊이에 처리된 펄라이트 비율별 수리전도도 변화

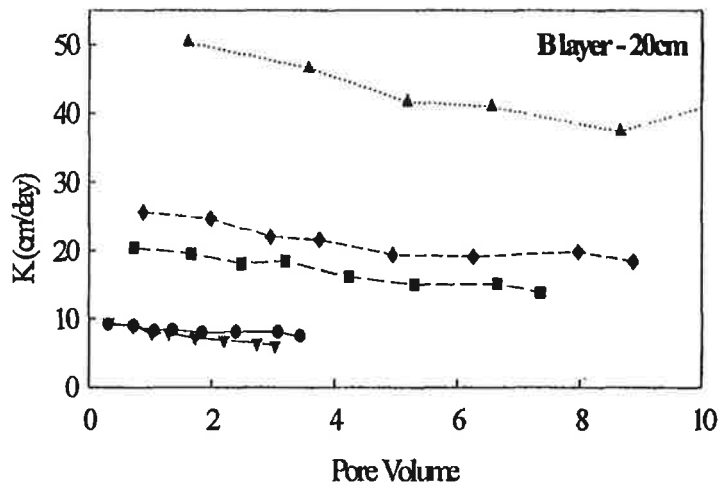


그림 4-15. B층 20 cm 깊이에 처리된 펄라이트 비율별 수리전도도 변화

그림 4-14에서와 같이 용출수내의 EC 값은 공극수량이 1에 도달할 때까지 급격히 증가하다가 이 이후 공극수량이 약 1.5에 도달할 때까지 농도가

급격히 낮아지고 2.5 공극수량 이후에는 큰 변화를 나타내지 않았다. 조사된 용출수의 농도는 최대  $3.2 \text{ dS m}^{-1}$ 이고 A층의 유기물 처리 함량이 증가됨에 따라 용출수내의 전기전도도 또한 증가하는 경향을 보였다. 그리고 용출수의 최대 전기전도도는 유기물 함량이 A층에 5%로 처리되었을 때 나타났다.

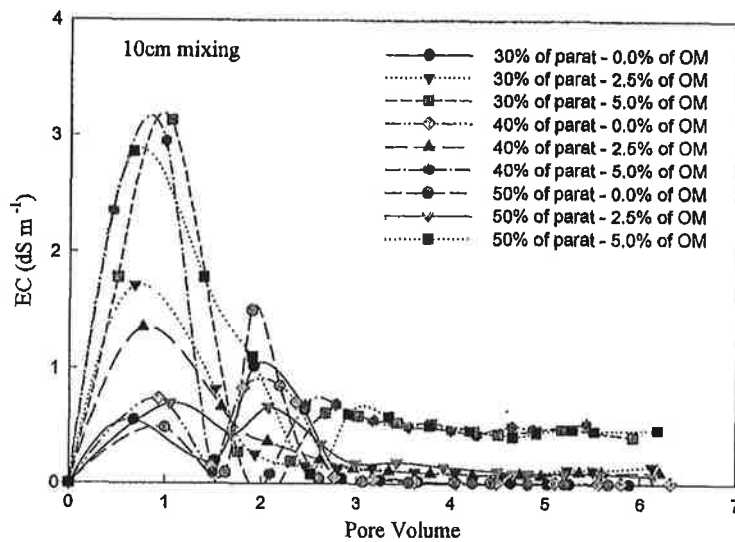


그림 4-16. 유기물이 처리된 A층과 펄라이트가 처리된 B층을 통과하는 용출수의 전기전도도 변화 특성

한편 B층에 그림 4-16과 같이 동일 비율의 펄라이트를 15cm로 처리시 용출수 내의 전기전도도 변화 값을 조사하였다 (그림 4-16). 펄라이트 처리 깊이를 달리한 토양의 조건에서도 용출수의 전기전도도 변화는 10cm와 유사하였다. 따라서 B층의 펄라이트 처리 깊이는 용출수내의 용존된 이온의 농도에 영향을 주지 않는 것으로 추정된다. 따라서 염류집적지에서 염류를 제거하기 위하여 펄라이트 처리시 펄라이트 처리 깊이보다는 펄라

이트 처리량을 알 수 있었다.

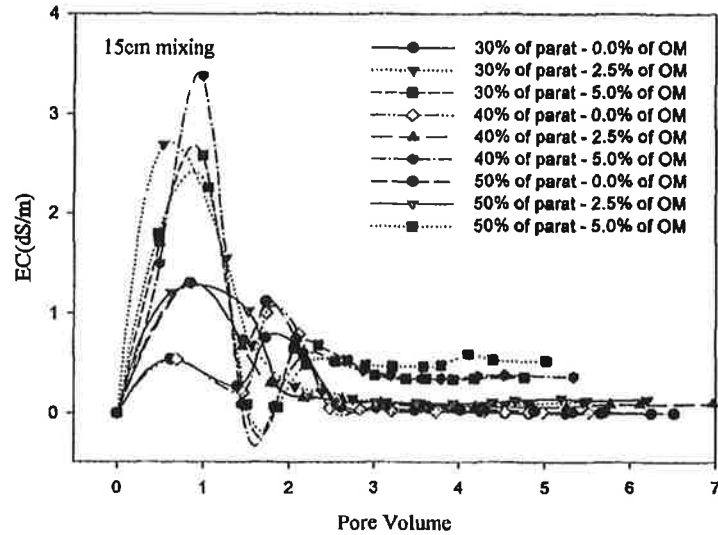


그림 4-17. 유기물이 처리된 A층과 펄라이트가 처리된 B층을 통과하는 용출수의 전기전도도 변화 특성

그러나 처리된 용출내의 존재하는 K이온의 농도를 조사한 결과 A층의 경우 유기물 함량이 2.5% 이하이고 펄라이트의 함량이 30% 이하일 때 처리수 내의 K이온은 1 공극수량 이하에서 대부분 용출되고 유기물 함량이 2.5% 이상이고 펄라이트의 함량이 40% 이상일 때는 1공극수량과 2공극수량에서 두 번의 최대 용출이 조사되었다. 따라서 토양내 염류집적이 가중되는 2.5% 이하의 저유기물과 30% 이하의 펄라이트를 시용함으로써 용탈을 가속화시킬 수 있을 것으로 판단된다 (그림 4-18, 19).

그리고 펄라이트를 B층의 15cm 깊이로 처리시에도 이와 유사한 경향을 보여 주었으며 그러나 펄라이트를 15cm 깊이로 처리시에 약 0.2 공극수량 정도 K 이온의 용탈이 빨리 시작됨을 알 수 있었다.

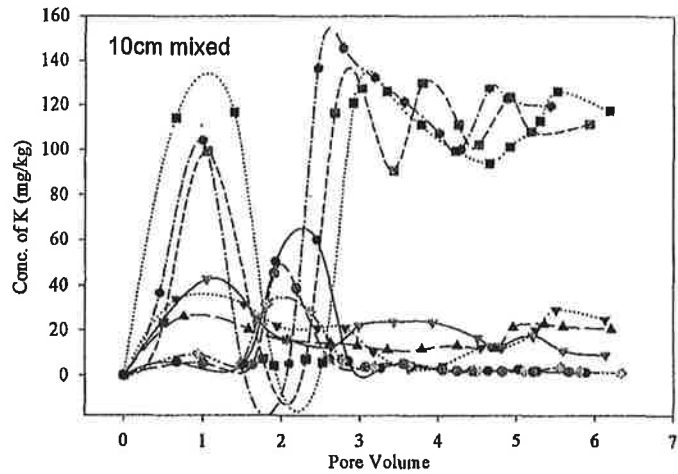


그림 4-18. 유기물 처리 A층과 펄라이트 처리 B층의 K 용출 특성 (10cm 깊이)

이는 조사된 공극수량이 약 10 정도이기에 전체 점토성분의 eluviation에 의한 토양내 공극안정화에 소요되는 시간이 10cm 처리시 보다 다소 시간이 소요되는 것으로 판단되며 실제 시설재배지 포장에서 관개에 토양의 포화는 이르지 않기에 실제 용탈 정도는 이와 다소 차이가 있을 것으로 판단된다.

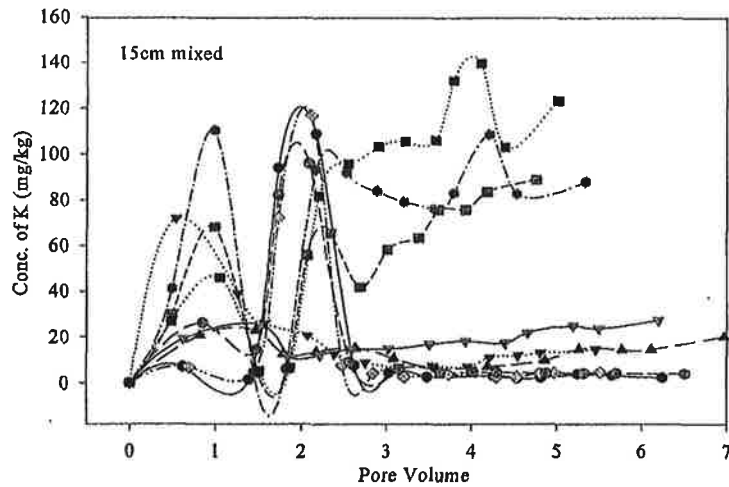


그림 4-19. 유기물 처리 A층과 펄라이트 처리 B층의 K 용출 특성 (15cm 깊이)

이상의 연구 결과를 종합하여 보면 1) Pressure Chamber를 이용하여 가압법으로 조사된 pF 0, 1.5, 2.0와 그리고 원심법으로 조사된 pF 3.0과 4.2의 수분보유력은 부피로 기준하여 환산시 동일시료내에서는 pF값이 증가 될수록 수분보유력은 급격히 감소하였으며 그리고 동일 시료의 동일 pF 값에서는 펄라이트의 혼합비율이 증가할수록 수분보유력은 감소하는 경향을 보였으며 질량비로 환산시 수분보유력은 펄라이트의 혼합비율이 증가하면 증가되는 경향을 보여주었고, 2)토양과 펄라이트 혼합별 수분보유력은 A(식토), B(식양토), C(양토)의 경우 펄라이트의 혼합비율이 증가하면 수분보유력은 감소하는 경향을 보이나 D(사양토)와 E(사토)의 경우 혼합비율이 증가하면 수분보유력 또한 증가하는 경향을 보여주고 있다. 일반적으로 A(식토)에서 E(사토)로 갈수록 점토함량이 낮아질 뿐만 아니라 수분보유력에 영향을 미치는 미세공극의 비율도 낮아져 수분보유력은 감소하게 된다. 예로 펄라이트 SP-1, 2, 3보다 SP-4, 5가 매우 작아 혼합비율이 높을수록 A(식토), B(식양토), C(양토)혼합 시료의 대공극(Macropore)비율을 증가시킬 뿐만 아니라 단위 부피당 입자표면적이 감소하게되나 D(사양토)와 E(사토)의 경우는 중공극(Mesopore) 이하의 공극비율이 증가할 뿐만 아니라 토양수분을 흡착시키는 단위 입자표면적이 증가하게되어 상대 수분보유력이 증가되는 것으로 추정된다. 그리고 본 연구에 참여한 (주) 삼손 외에 국내에서 생산되는 제품 A - 1, 2 그리고 B의 조사 결과 (표 5) SP-3,4,5와 비교한 결과 A-2가 pF 1.5이하의 범위에서 조사된 SP series 중 4와 5에 근접한 수분보유력을 보여주었고 pF 범위가 2.0이상일 경우 SP-4와 5의 약 60% 수준의 수분보유력을 가지는 것으로 나타났다. 한편 펄라이트 자체만의 수리전도도 측정결과 수분보유력과 유사한 경향을 보여주고 있다. 즉 펄라이트 입경이 크면 클수록 상대수리전도도도 증가하는 경향을 보여주었다.

따라서 펄라이트 표면에서 수분보유력과 펄라이트 혼합 토양의 수리전

도도는 펄라이트 입경과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다. 그러므로 펄라이트를 토양수분관리 측면의 농업적 자재로 사용시 작목의 조건에 따른 입경 선택이 필수적일 것으로 판단한다.

## 제 5장 시설재배지 토양구조개선 및 시공법

### 제1절 서론

토양은 충분한 양분을 간직하고 있어야 되는 한편 토양에 있는 양분을 뿌리가 원활히 흡수하려면 뿌리신장에 지장이 있거나 공극량이 적어서 산소의 공급이 어려우면 작물생육은 제한을 받게 되는데 고추의 경우 토양의 물리적 특성에 따라 근권부의 생육이 많은 차이를 보인다 (그림 5-1).

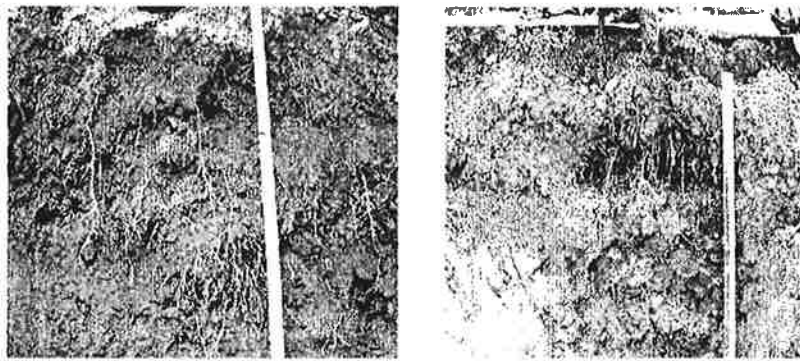


그림 5-1. 토양물리적 특성 차이에 따른 고추 근권 상태 (좌: 양호, 우: 불량)

이러한 작물 생육에 저해가 되는 토양의 조건은 주로 물리성 악화에 의해 발생하며 물리성 요인으로 용적밀도 증가에 따른 공극을 감소 및 공극크기의 감소가 주요인으로 지적된다. 그리고 시설재배지의 경우 잦은 기계적 경운시 토양에 하중을 가하게 되어 실제 경운층 이하에서는 압밀이 일어나게 되어 작물생육의 직접적인 저하요인이 되며 또한 염류장해의 주요인으로 작용한다.

따라서 김 등(1998) 등은 이러한 문제를 해결하기 위하여 다양한 종류의

토양개량제를 처리하여 토양의 물리성을 개선하려고 하였다 (표 5-1). 김 등이 처리한 토양개량제는 유연탄회, 무연탄회, ALC, 공시토양이었는데 이들 3가지 토양개량제는 토양과 비교시 용적밀도가 0.4내지 0.6 unit 정도 작았다.

표 5-1. 토양개량제 및 공시토양의 물리성

구분	Particle Size Distribution(%)			보수력(bar,%)			용적밀도 (Mg/m <sup>3</sup> )
	Sand	Silt	Clay	0.1	0.33	15	
유연탄회	12.7	86.4	0.9	43.4	39.0	5.9	1.13
무연탄회	12.5	82.1	5.4	54.9	46.6	9.1	0.97
ALC	47.2	45.8	7.0	65.6	46.6	23.8	0.82
공시토양	78.8	16.4	4.8	12.3	11.1	4.6	1.48

그리고 이들 개량제중 유연탄회를 처리수준 0 %부터 100% 까지 처리시 용적밀도는 1.48에서 1.13 정도로 감소되었으며 ALC의 경우 1.15에서 0.87로 감소되었다고 보고하였다. 그러나 이는 본 연구과제 3과 4장에서 조사된 펄라이트와 비교시 최소 0.5 unit 정도가 높음을 알 수 있다.

표 5-2 개량제처리별 토양의 용적밀도 변화

처리수준 (%)	유연탄회		무연탄회		ALC	
	양질사토	식양토	양질사토	식양토	양질사토	식양토
0	1.48	1.15	1.48	1.15	1.48	1.15
10	1.59	1.28	1.56	1.31	1.37	1.13
20	1.58	1.34	1.53	1.34	1.31	1.14
50	1.42	1.23	1.32	1.19	1.11	1.00
90	1.14	1.15	1.01	0.99	0.88	0.87
100	1.13	1.13	0.97	0.97	0.82	0.82

한편 토양의 물리성이 불량한 연곡 미사질 식양토에 개량제를 처리 후 토양물리성과 작물생육에 미치는 영향을 조사한 결과 토양경도는 PAM 처리구가 6mm로써 가장 낮았고 K-SAM 처리도 관행에 비하여 떨어졌으나 무연탄



회처리는 경도가 23mm로서 관행 21mm에 비하여 오히려 증가되었다고 보고하였다. 그러나 용적밀도는 모든 개량제 처리구가 관행보다 낮았으며 특히 PAM 처리구의 용적밀도가 가장 낮았으며 무처리와 대비시 작물의 생육은 처리구가 무처리구보다 최소 10% 증수되었다고 보고하였다.

따라서 토양물리성이 개선된 토양은 작물의 생육에 적합하다고 판단할 수 있으며 토양 경운에 있어서도 로타리 경운이 심경보다 효과적이라고 보고하였으나 본 연구에서 사용하고자 하는 펄라이트는 이들 토양개량제 중 ALC와 유사하여 비교가 용이할 것으로 판단된다.

표 5-3. 처리별 토양물리성 변화

경운법	구분	무처리	PAM	K-SAM	유연탄회	무연탄회
로타리	경도 (mm)	21	6	18	21	23
	용적밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	1.49	1.26	1.45	1.42	1.47
	액상 (%)	30.6	28.2	30.8	32.0	32.8
	통기성 (cm/sec)	0.97	3.09	1.45	1.00	1.01
	내수입단 (>2mm,%)	10.8	72.6	34.8	24.8	26.7
심경	경도 (mm)	20	12	15	22	22
	용적밀도 (g/cm <sup>3</sup> )	1.49	1.09	1.37	1.46	1.42
	액상 (%)	27.6	23.7	30.7	31.0	28.0
	통기성 (cm/sec)	1.18	5.45	1.54	1.21	1.12
	내수입단 (>2mm,%)	3.6	69.3	20.5	21.3	13.5

따라서 본 연구에서는 시설재배지 토양의 최대 문제점인 염류장애와 병해저감을 위하여 토양구조개선을 하고자 하며 이때 적용되는 원리는 토양내 특정 이동경로를 통한 수분의 용탈을 용이하게 하며 통기성을 개량하기 위하여 토양수분의 선택적 이동 이론을 적용하여 효과적이며 장기간 별도의 관리방법이 요구되지 않는 장기 연작 시설재배지 토양구조 개발과 작물의 수분요구도에 따른 적정 토양수분 관리방법을 개발하여 시설재배지의 염류장애와 병충해저감 및 과학적 시설재배지 관리에 의한 환경친화형 시설 농업화를 목적으로 실시하였다. 이러한 목표 하에 개발되는 결과 또는 산물은 ① 기본

토양구조 개선 모형 ②토양구조 개선제 ③ 토양수분 측정 기법과 관리법  
④ 토양구조 시공법 및 관리 기법으로 구분할 수 있다.

## 2. 재료 및 방법

### 1) 토양구조 모형 실험

본 실험에서는 유기물을 달리하는 토양 내 각기 다른 양의 펄라이트를 처리하였을 때 토양의 물리·화학적 특성변화를 구명하고자 토양칼럼을 이용한 실내실험 (그림 5-2)과 토양 bin (그림 5-3)을 이용한 실외 현장적용 실험을 시행하였다.

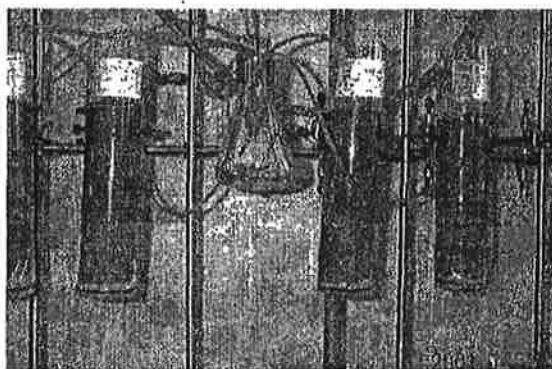


그림 5-2. 토층변화 특성 조사를 위한 토양 칼럼

실내실험은 길이가 50cm, 지름이 10cm인 원통형 아크릴 칼럼을 사용하여 유기물(0%, 1.5%, 3%)과 펄라이트 함량(0, 5, 10%)을 달리하는 토양을 충전시킨 후 토양칼럼을 밑부분부터 상향포화시킨 후 토양칼럼의 수두를 일정하게 유지시키면서 증류수를 이용하여 용출시킨 다음 토양칼럼을 5cm 간격으로 절단하여 풍건 후 토양의 용적밀도 변화를 조사하였다. 한편 토양 Bin을 이용하여 시간별 일정 범위내의 용출수 변화 양상을 조사하였다 (그림 5-3)

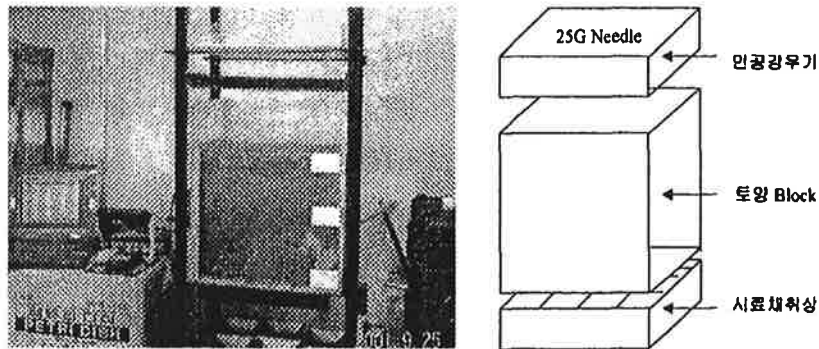


그림 5-3. 용출수 분산 특성 조사 토양 Block 모식도

토양블록은 인공강우기-블록-용출수 수집기의 3조로 토양블록은 면적 (50 x 50cm), 길이 50cm의 PVC로 제작한 후 토양블록 옆면에 Lysimeter와 Tensiometer를 깊이별로 설치하여 수분과 물질이동 특성을 조사하였다. 이 때 토양과 토양구조 개선재 충전은 용적밀도별로 다양하게 조정(1.1~1.6g/cm<sup>3</sup>)하였으며 토양층은 시설재배지 토층을 고려하여 단일-복합의 혼합 형태로 조사하였다.

본 연구의 2장과 3장에서 조사된 유기물, 펄라이트 처리 등 토양구조 개선 방법에 따른 작물 생육을 조사하기 위하여 시설재배지 내 Soil Bin을 설치하여 Soil Bin의 하부는 Bentonite를 1cm 깊이로 처리하여 차수층을 만든 후 B층을 처리하고 A층을 처리하였다. 그림 5-4는 시설하우스내에 Soil Bin을 설치하는 과정을 나타낸 것이다. 총 설치된 Soil Bin의 수는 총 9개이며 각각의 Soil Bin은 Plastic 칸막이를 이용하여 3등분하여 A층과 B층으로 나누어 유기물과 펄라이트를 각각 처리하였으며 A층, A-B층 Interface, 그리고 B층에 수분 이동특성을 조사하기 위하여 Lysimeter를 설치하였다. 한편 토양깊이별로 토양의 Matric potential을 측정하기 위하여 Tensiometer와 설치하고 별도로 TDR을 이용하여 주기적으로 수분 potential을 측정하였다.

각각의 처리구는 가로 120cm 세로 80cm 크기에 20cm의 A층은 유기물 처리를 1.5%와 3.0%의 2단계와 펄라이트는 0, 5, 10%의 3단계로 나누어 처리하였으며 20cm B층은 펄라이트를 0, 20, 30, 40, 50%의 5단계로 나누어 처리하였다. 그리고 대조구로 관행시비구와 무처리구를 두었으며 반복은 없었으며 재배 작목은 상추였다 (그림 5-4, 5).

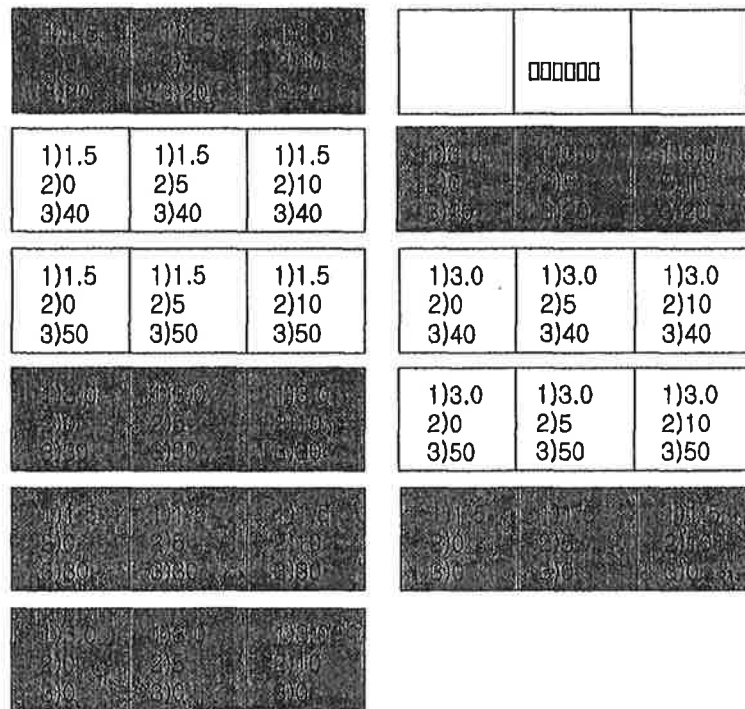
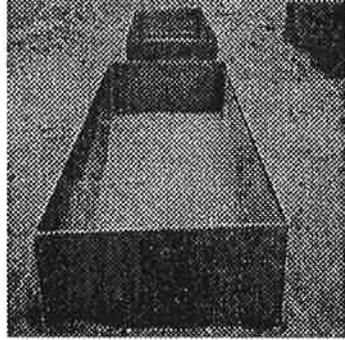
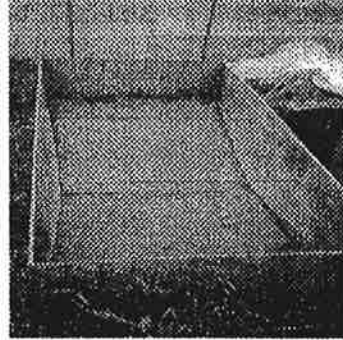


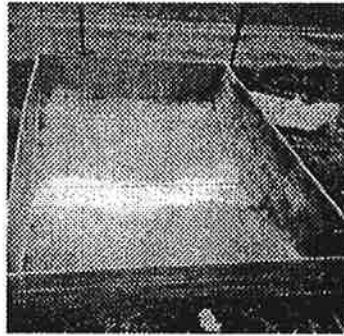
그림 5-4. 토양 Bin 유기물과 펄라이트 처리구와 배치도



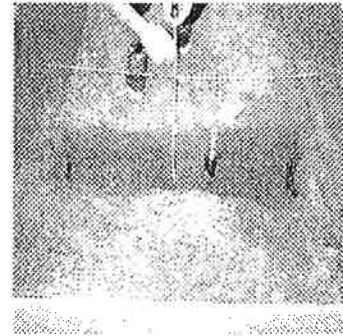
초기 Bin 설치



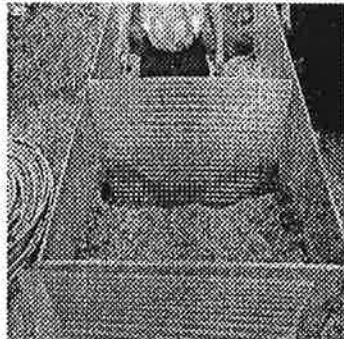
토양 Bin 불투수구조층 처리



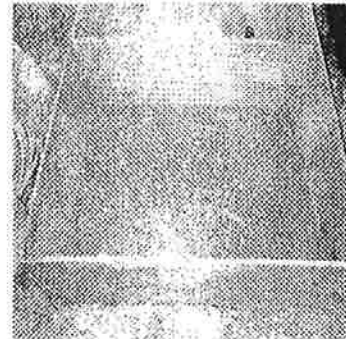
B층 펄라이트 처리



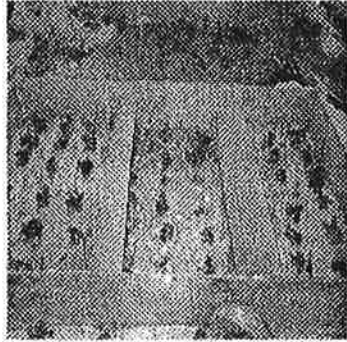
혼합 A-B층 완성



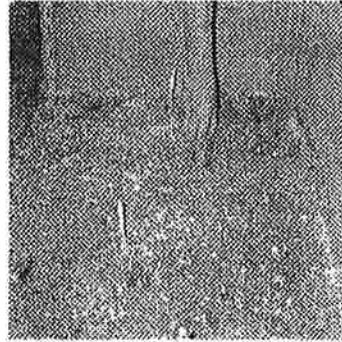
Bin 칸막이



A-B층 완성도



작물재배 (상추)



재배후 토양시료 채취

그림 5-5. 토양 Bin 설치 과정

현장 시험은 충남 부여군 세도면에 위치한 PC 연동 방울토마토 시설재배지에 실험실에서 얻어진 결과를 검증하기 위하여 퍼라이트와 유기물을 적용하여 토양구조를 만든 후 재배 작물로 방울토마토를 정하였으며 재배한 작물의 생육상태를 조사하기 위하여 화방과 과실의 양을 확인하였다.

시험 1차년도에는 A층과 B층의 깊이를 각각 20cm로 하여 A층은 유기물 1.5와 3%로 처리하고 B층은 기존의 토양상태로 유지하였고 퍼라이트 함량은 Acm은 0과 10% 이고 Bcd은 20%에서 50%까지로 처리하였다. 시험 2차년도에는 A층의 깊이를 18cm으로 하고 퍼라이트의 함량은 0%와 10%로 처리하여 실험하였다(표 5-4, 5, 6, 7).

표 5-4. PC 연동 내 1년차 처리구의 혼합비율(1처리구 : 8m × 2m)

Percent of perlite(%)	0	20	30	40	50
Length of A layer(cm)	20	20	20	20	20
Length of mixed layer(cm)	0	15	15	15	15
	0	20	20	20	20

표 5-5. PC 연동 내 2년차 처리구의 혼합비율(1처리구 : 8m×2m)

A layer	Percent of perlite(%)	0	0	0	10	10
	Length of A layer(cm)	18	18	18	18	18
Mixed layer	Percent of perlite(%)	0	25	50	25	50
	Length of mixed layer(cm)	15	15	15	15	15

비닐 연동은 표 5-6과 같으며 일반 하우스는 표 5-7과 같다.

표 5-6. 비닐 연동 내 1년차 처리구의 혼합비율(1처리구:6m×2m)

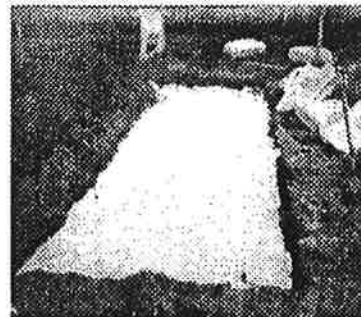
Percent of perlite(%)	0	20	30	40	50
Length of A layer(cm)	20	20	20	20	20
Length of mixed perlite(cm)	0	15	15	15	15
	0	20	20	20	20

표 5-7. 일반하우스 1년차 처리구 혼합비율(1처리구:5m×2m)

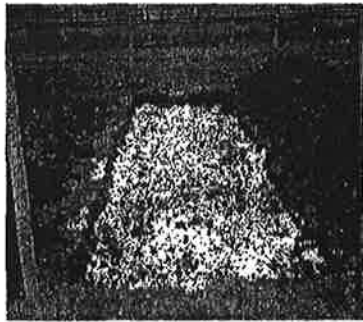
A layer	Percent of perlite(%)	0	0	0	10	10
	Length of A layer(cm)	18	18	18	18	18
Mixed layer	Percent of perlite(%)	0	25	50	25	50
	Length of mixed layer(cm)	15	15	15	15	15



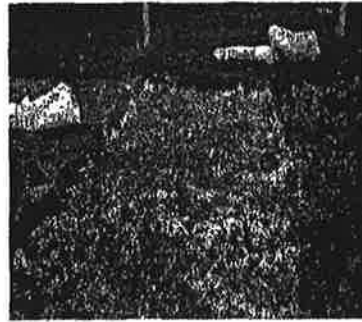
토양 정지



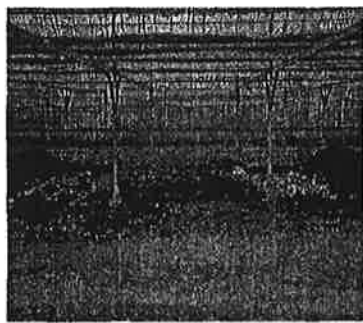
50% Perlite Mix



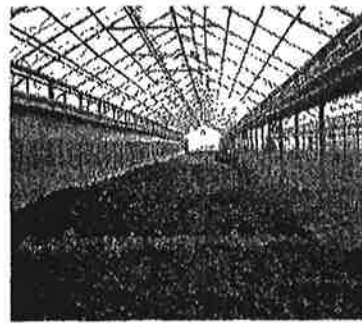
균질 혼합 후(B층)



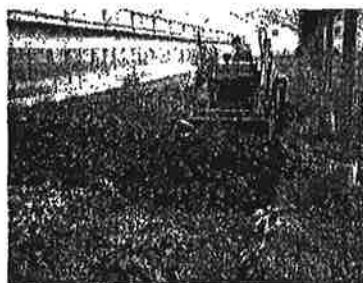
균질 혼합 30%(B층)



처리구 전경



처리구 전경



A층 복도

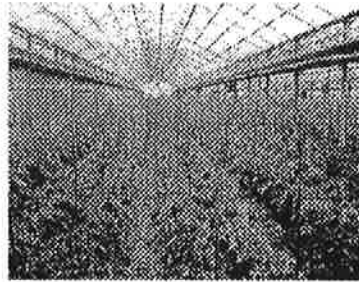


A층 복도

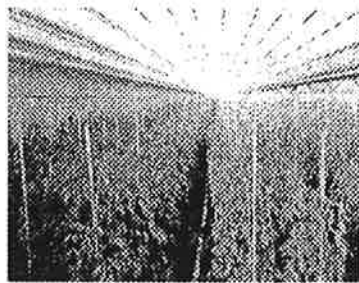




재식 7일 후



재식 30일 후



재식 후 70일

그림 5-6. 시설하우스내 토양처리 및 재배과정

### 3절 결과 및 고찰

#### 1. 토양 구조 모형별 시공(단층/다층)

토양구조 모형별 수분 이동 특성에 따른 EC와 pH 변화를 조사하기 위하여 ① A층 토양내 유기물이 1.5%, 3.0% (w/w)로 조정한 후 ② 유기물 첨가에 따른 토양의 pH와 EC를 측정한 결과 EC와 pH 모두 1공극수량 정도가 토양을 통과한 후 급격히 감소하는 경향을 보여주고 있으며 펄라이트가 B층에 처리된 토양에서의 용출수의 EC가 처리되지 않은 토양보다 낮음을 알 수 있었다.

그리고 A층 토양에 유기물 처리량이 증가함에 따라 초기 EC와 pH의 값

은 유기물이 처리되지 않은 토양보다 약 0.3배 내지 1.2배까지 높았으나 1  
공극수량 이후에는 용출되는 EC나 pH 모두 거의 차이가 없었다(그림 5-7,  
8).

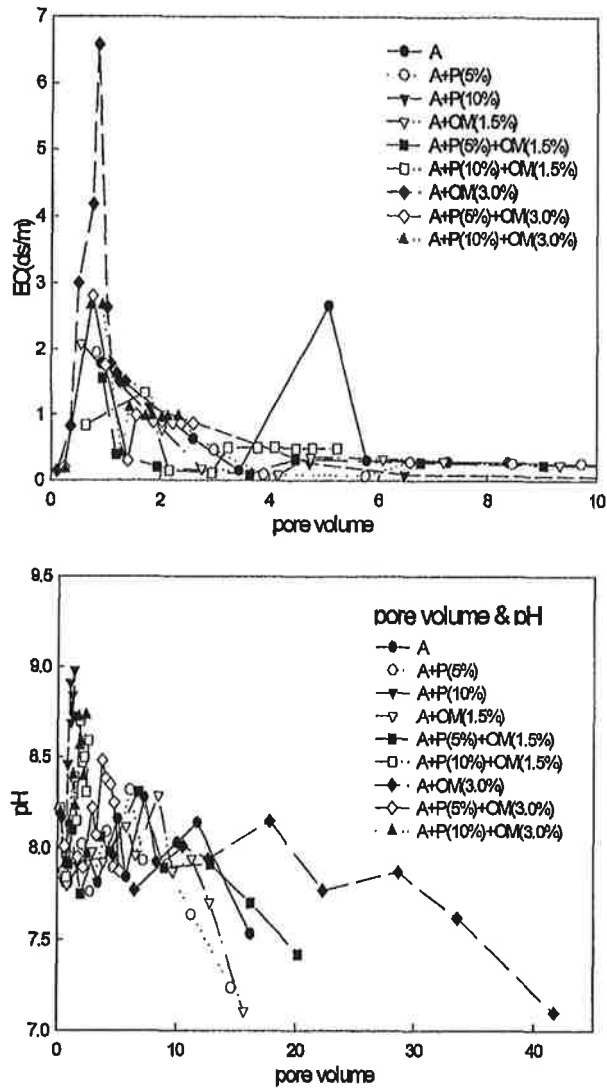


그림 5-7. 유기물 처리 A층과 펄라이트 처리된 B층의 용출수내 K 이온의  
용출 특성 (15cm 깊이)

한편 용출수 시험이 끝난 후 토양 Column을 5 cm 간격으로 절단하여 토양내 pH와 EC를 조사한 결과 A층과 B층의 접면까지는 증가하다가 퍼라이트가 혼합된 B층에서는 급격히 감소하는 경향을 보여주고 있다 (그림 5-8).

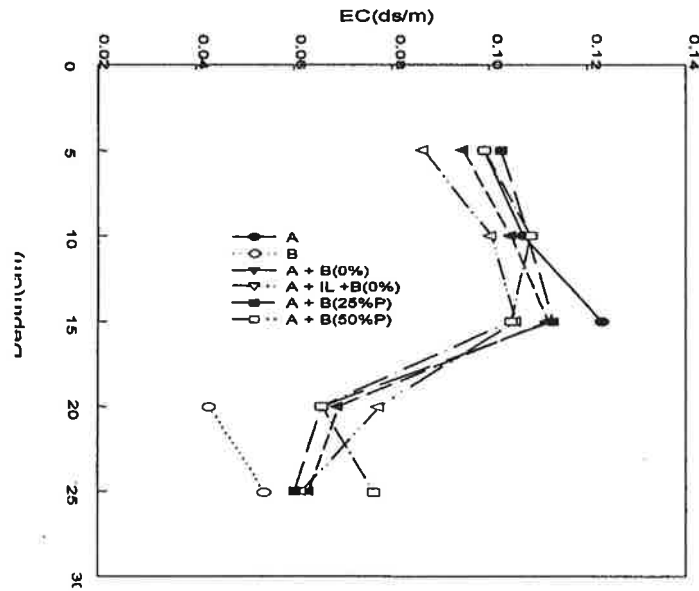


그림 5-8. 10공극수량 처리 후 토양내 깊이별 EC 분포

동일한 토주의 pH를 5cm 간격으로 절단하여 pH를 조사한 결과 유기물이 처리된 A층의 토양의 pH가 퍼라이트가 처리된 B층의 pH보다 높았음을 알 수 있으며 EC와 마찬가지로 A층과 B층의 접면까지는 pH는 증가하다가 퍼라이트가 혼합된 B층에서는 급격히 감소하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 전체 pH 변화는 알카리 특성을 보여주고 있으며 A층의 pH가 B층의 pH보다 높은 것은 A층에 처리된 유기물의 영향인 것으로 추정된다. 따라서 유기물 처리층의 깊이가 깊어질수록 상대 pH 보정효과는 높을 것으로 추정된다 (그림 5-9).

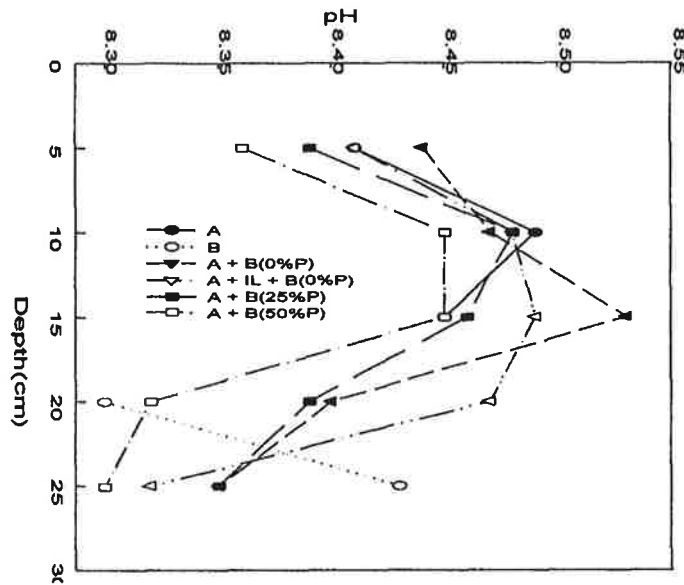


그림 5-9. 10 공극수량 처리 후 토양내 깊이별 pH 분포

한편 이러한 토양조건에서 포화수리전도도 값을 조사한 결과 조사된 A층에 유기물을 처리하지 않은 토양에서는 조사된 공극수량 5에 도달할 때까지 수리전도도는 지속적으로 감소한 반면 유기물만 처리시 수리전도도는 조사된 공극수량 15에 도달할 때까지 점진적으로 증가하는 경향을 보여주고 있으며 유기물을 전혀 처리하지 않고 퍼라이트를 5%와 10% 처리한 토양에서는 포화수리전도도는 지속적으로 증가하는 경향을 보여주고 있다. 그러나 퍼라이트를 5% 처리한 토양보다는 10% 처리한 토양에서 수리전도도는 조사된 공극수량 43중에서 약 35 공극수량까지는 증가하다가 이 이후 다소 감소하는 경향을 보여주고 있다. 따라서 지속적인 관수에 의해 토양에 집적된 염류를 제거하기 위해서는 퍼라이트만을 처리해야 함을 알 수 있다 (그림 5-10).

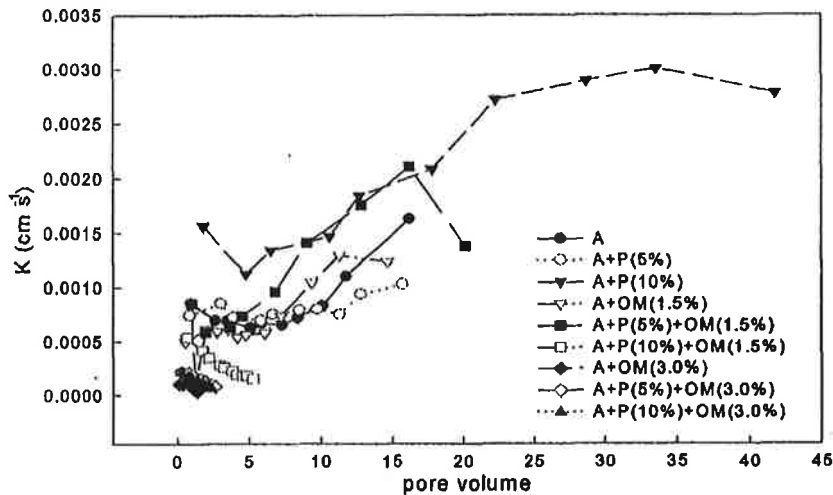


그림 5-10. 펄라이트와 유기물 처리에 따른 수리전도도 변화 특성

A layer에 서로 다른 함량의 유기물을 혼합한 후 용출 실험을 끝낸 후 토양을 5cm 깊이로 분석한 토양의 EC(Electrical conductivity)는 그림 5-10에 나타내었다. 깊이에 따른 EC는 유기물 함량이 증가할수록 높게 나타났으며 이온의 흐름에 아래로 집적됨에 따라서 동일한 층(A, B layer)에서 깊이가 증가할수록 높게 나타났다 (그림 5-11).

그리고 동일 깊이에서 토양 pH를 측정된 결과 A층과 B층을 각 5cm 깊이 별로 분석한 결과는 Fig. 18에 나타내었다. 이러한 결과는 유기물이 존재하지 않는 0%의 처리구와 비교하여 볼 때 유기물을 시용할 경우 토양의 pH는 일반적으로 6.5에서 7.5 정도로 원래 토양이 갖는 A layer의 6.2와 B layer의 4.8에 비추어 볼 때 pH의 상승 효과를 가져다 준 것으로 판단된다 (그림 5-12).

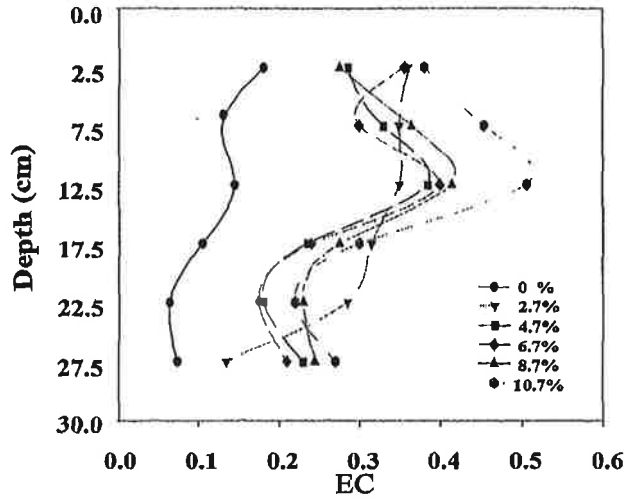
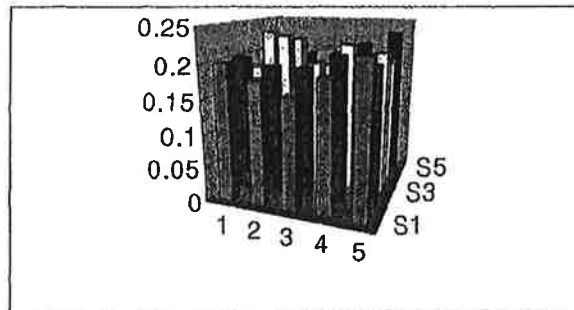
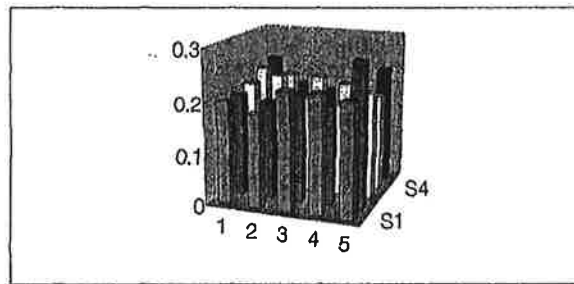


그림 5-11. 용출 후 토양의 깊이별 EC 변화



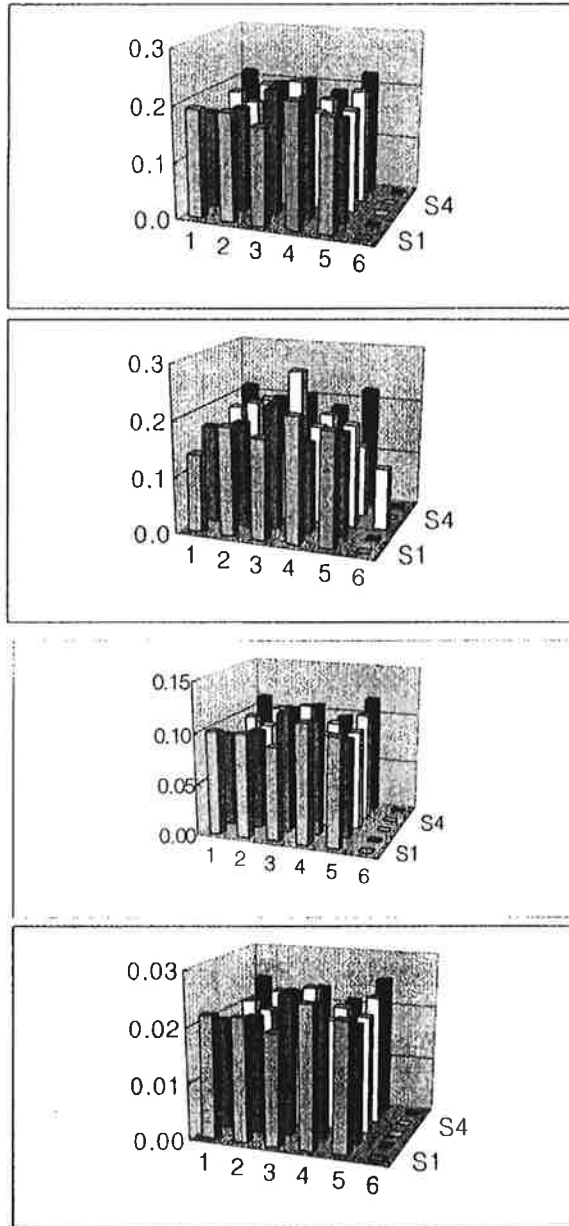
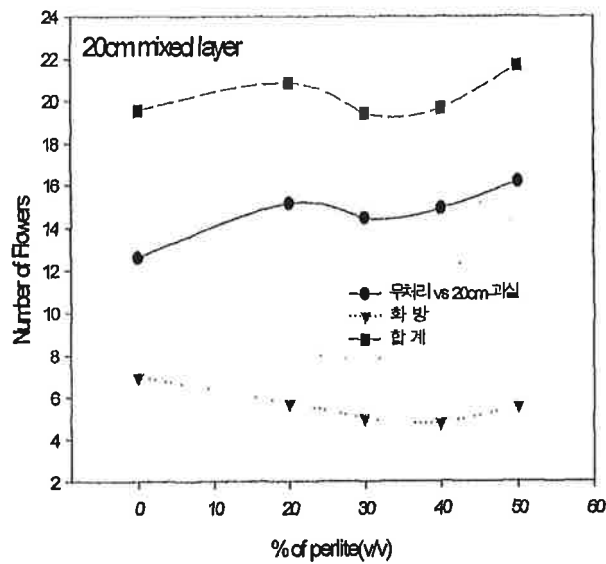


그림 5-13. 토양 Bin의 용출 농도 분포

충남 부여군 세도면에 설치한 처리포장과 무처리 포장에서 조사한 화방과 과실을 생산성을 조사한 결과 화방수는 B층에 처리한 펄라이트 함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보여주고 있으나 최종 과실수량에서는 B층에 펄라이트 함량이 증가함에 따라 과실 생산량이 증가함을 알 수 있었다. 그리고 B층의 펄라이트 혼합 깊이를 15cm와 20cm 깊이로 나누어 조사한 결과 펄라이트를 20cm 깊이까지 혼합한 토양에서 최종 과실 수량이 높음을 알 수 있었다. 이러한 조사 결과로부터 토양에 펄라이트를 처리시 화방수는 일부 감소하나 최종 과실 수량에 영향을 미치는 것으로 판단된다. 한편 펄라이트 처리 별 화방과 과실의 생육 효과를 검정시 펄라이트를 30% 처리시 가장 화방과 과실의 최종 생육이 양호함을 알 수 있었다. 그리고 2년차의 연속 시험결과도 이와 유사한 경향을 보여주었으며 하우스간이 유의성은 발견되지 않았다.





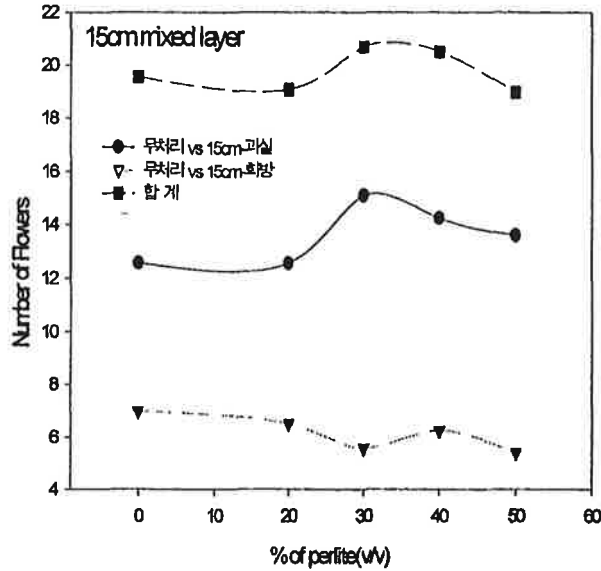


그림 5-14. 충남세도 시설하우스의 방울토마토 생육 특성

그리고 토양 bin을 이용한 처리별 상추의 생육 조사 결과 A층의 유기물함량이 1.5%, 펄라이트 10%, 그리고 B층의 펄라이트 함량이 20cm 깊이  
에 30% 처리시 단위 면적당 생체중 및 건물중이 가장 높았다.

다음은 충남대 포장에 설치한 Soil Bin을 인위적으로 관개를 실시하면서 시간별 토양깊이별 전기전도도, 이온의 분포 특성을 조사한 것이다. 처리는 A층과 B층으로 분리하여 유기물과 펄라이트(입경 1.75-3.25mm)를 서로 다른 조건으로 처리하고 관개량은 시간당 15mm로 하여 처리전, 처리후 0, 6, 24시간 후 조사하였다.

그림 5-15는 A층의 유기물이 1.5%이고 B층의 펄라이트가 0%이고 A층의 펄라이트가 각각 0%, 5% 그리고 10%일 때 KNO<sub>3</sub> 처리전·후 시간에 따라 EC 값을 비교한 것이다. B층에 펄라이트를 처리하지 않은 조건에서 EC값의 변화는 A층의 펄라이트의 처리량이 증가함에 따라 조사된 깊이 30cm 이내의 EC 값은 빨리 저하됨을 알 수 있었다.

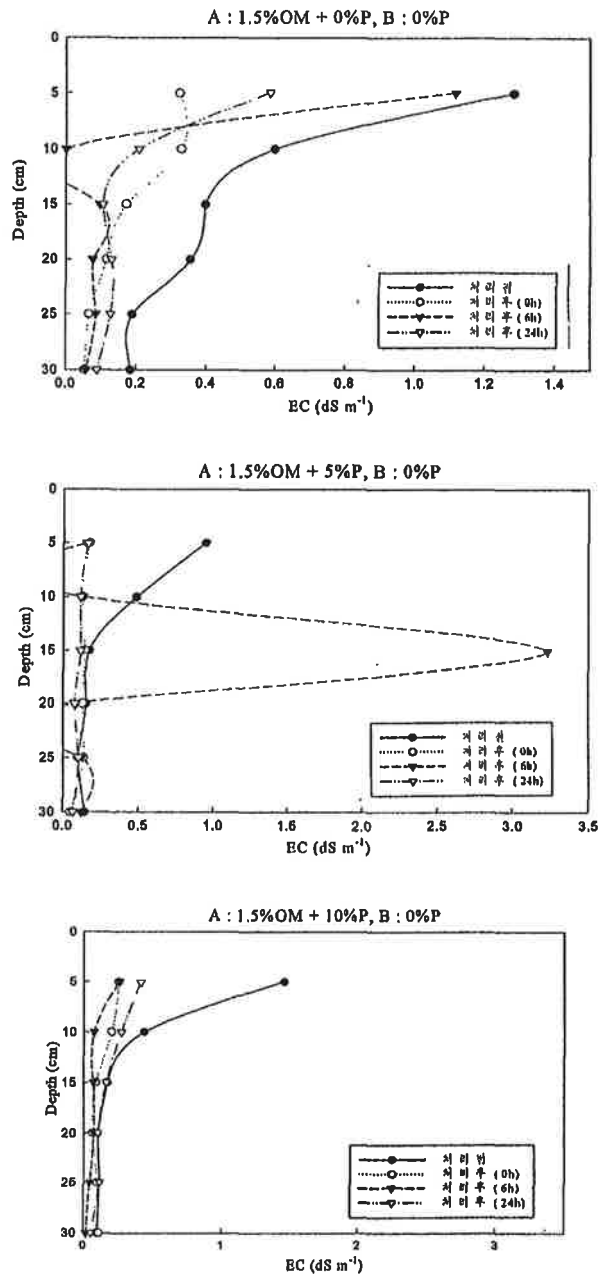
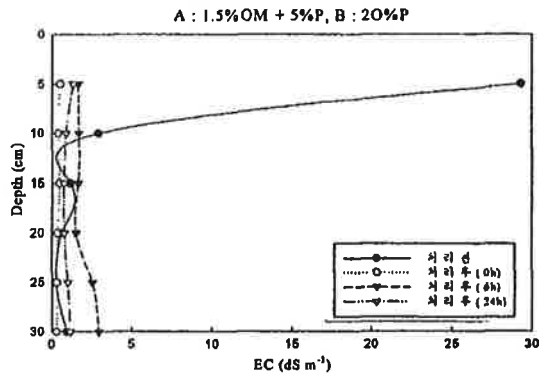
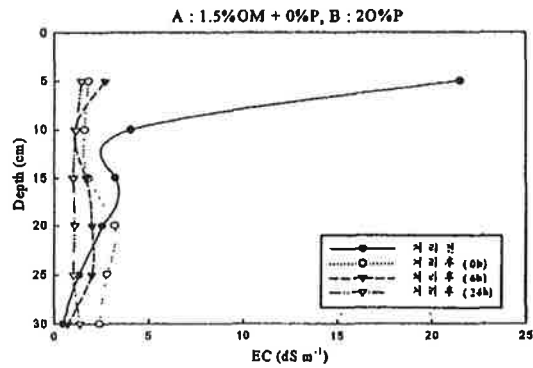


그림 5-15. Soil Bin의 층간 처리별 EC의 분포 특성

그림 5-16은 A층의 유기물이 1.5%이고 B층의 펄라이트가 20%이고 A층의 펄라이트가 각각 0%, 5% 그리고 10%일 때  $KNO_3$  처리전·후 시간에 따라 EC 값을 비교한 것이다. 그림 5-16와 비교시 B층에 펄라이트를 20% 처리시 조사 깊이 전체의 EC 값은 A층에 1.5% OM과 10%의 펄라이트 그리고 B층에 펄라이트를 처리하지 않은 토양보다 약 1/3 정도의 수분으로 감소되었음을 알 수 있다.



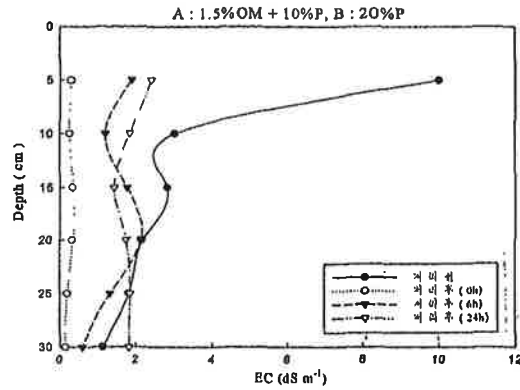
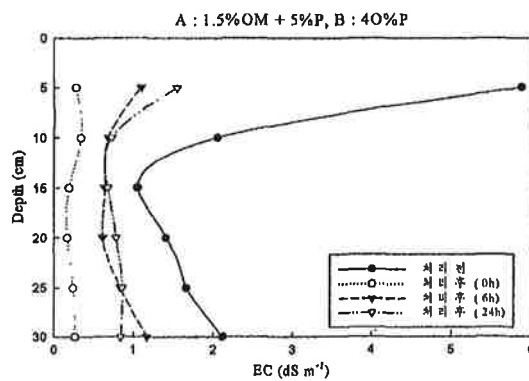


그림 5-16. Soil Bin의 층간 처리별 EC의 분포 특성(B층:20% 펄라이트)

그리고 A층에 1.5%의 유기물과 펄라이트가 각각 5%와 10%로 처리하고 B층에는 펄라이트를 40%로 처리하고 KNO<sub>3</sub> 수용액을 관개수로 사용하여 처리 전·후 시간에 따라 EC값을 비교한 결과 B층에 20%의 펄라이트를 처리한 토양보다 약 1/2 정도로 토양내의 EC 값이 감소됨을 알 수 있었다 (그림 5-17).

따라서 A층과 별도로 B층만의 EC 값의 변화를 기준시 B층의 펄라이트 처리비율이 증가됨에 따라 토양내에 잔류하는 이온의 이동이 용이함을 알 수 있다.



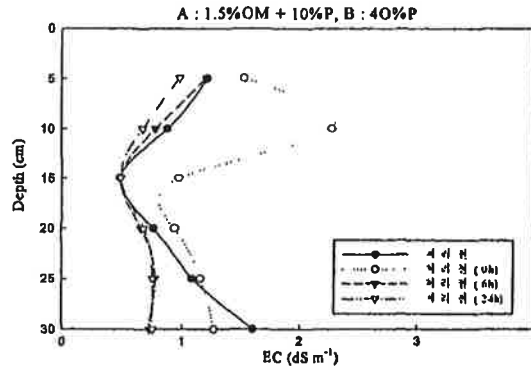
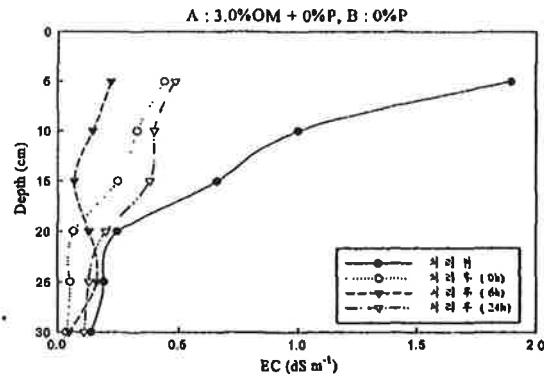


그림 5-17. Soil Bin의 층간 처리별 EC의 분포 특성(B층:40% 퍼라이트)

한편 A층의 유기물 함량을 3.0%로 처리하고 B층에 퍼라이트를 처리하지 않은 상태에서  $KNO_3$  처리 전·후 시간에 따라 EC값을 비교한 결과 (그림 5-18) A층내의 EC 값은 1.5%로 처리시 보다 높았으며 그러나 A층내의 퍼라이트의 처리 비율이 높아짐에 따라 A층의 EC 값도 급격히 감소되었다.



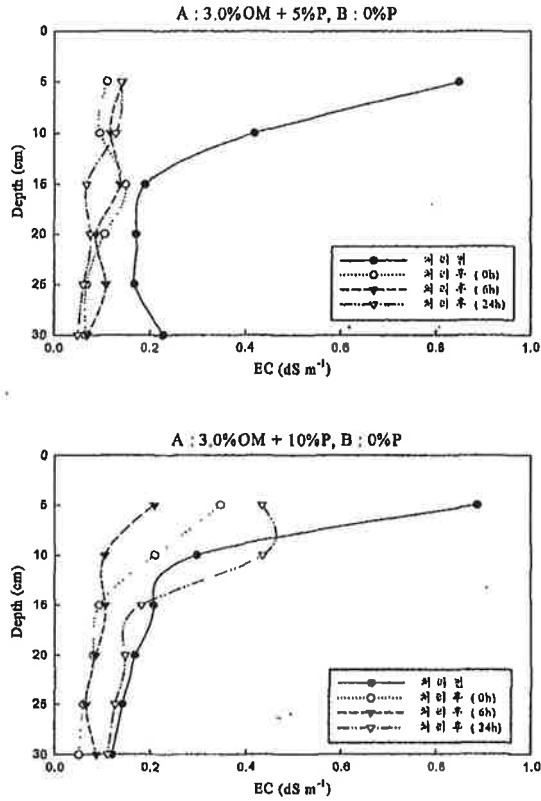


그림 5-18. Soil Bin의 층간 처리별 EC의 분포 특성(A층:3.0% OM)

따라서 A층에 처리된 펄라이트도 B층에 펄라이트 처리와 상관없이 이온의 이동에 영향을 주었음을 확인할 수 있었다.

그림 5-18의 처리조건 중 A층은 동일하게 그리고 B층에 perlite를 20% 처리시 토양내 깊이별 EC 값의 변화를 조사하였다. 그림 5-18과 비교시 B층에 펄라이트 처리 비율이 높아짐에 따라 동일 깊이에서 EC 값은 감소됨을 알 수 있었다.

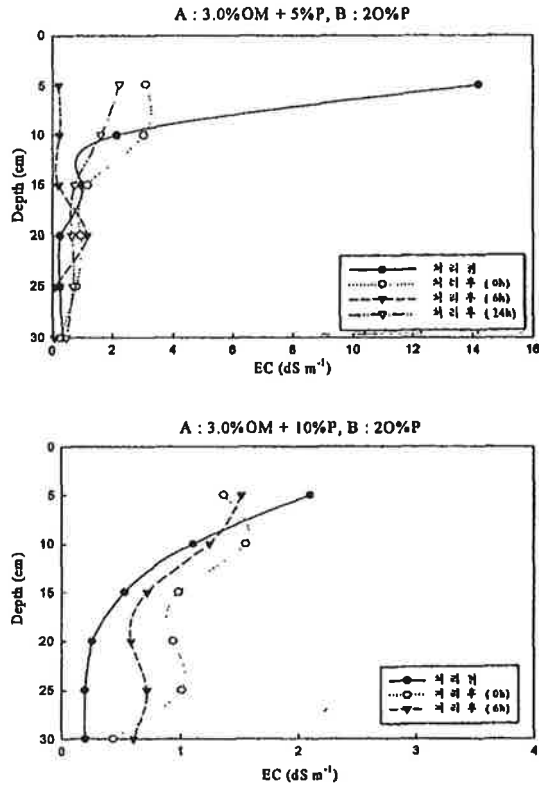


그림 5-19. Soil Bin의 층간 처리별 EC의 분포 특성(B층:20% 퍼라이트)

이상과 조사된 토양내 EC 변화를 K 이온의 분포특성으로 조사하여 보았다. 그림 5-15와 동일한 처리조건에서 K이온의 토양내 분포는 A층의 퍼라이트 처리 비율이 증가함에 따라 K 이온의 분포도 급격히 감소하는 경향을 보여주었으나 처리 후 시간이 경과함에 따라 B층의 K 이온의 증가가 조사되었다(그림 5-20). 이는 A층내의 K 이온이 시간이 경과함에 따라 수분의 이동과 함께 하층부로 이동되었기 때문이다.

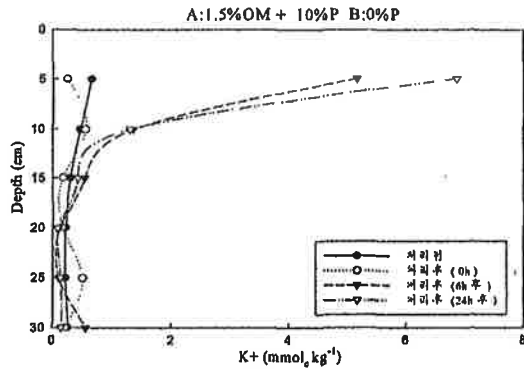
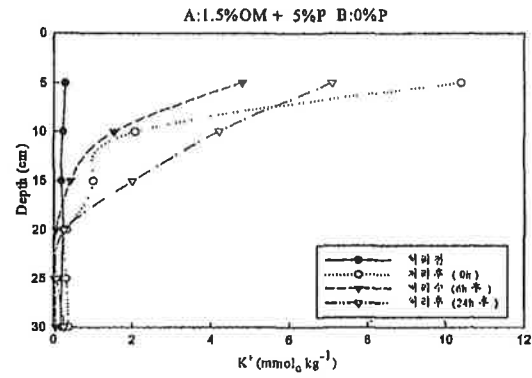
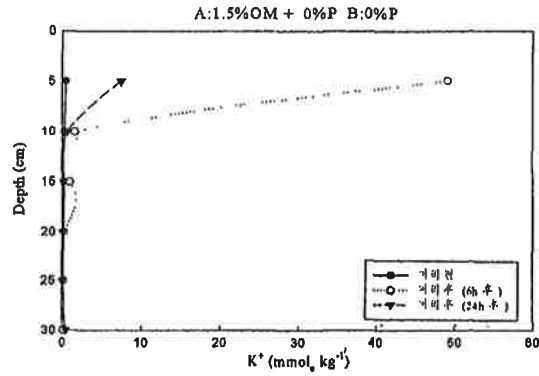


그림 5-20. Soil Bin의 층간 처리별 K 분포 특성(B층:0% 퍼라이트)

그림 5-20 처리조건 중 B층의 퍼라이트를 20% 처리하여 K 이온의 토양



내 분포를 조사한 결과 EC 변화와 마찬가지로 K 이온의 토양내 분포는 감소하였으나 하층부의 K 이온의 증가가 조사되었다.

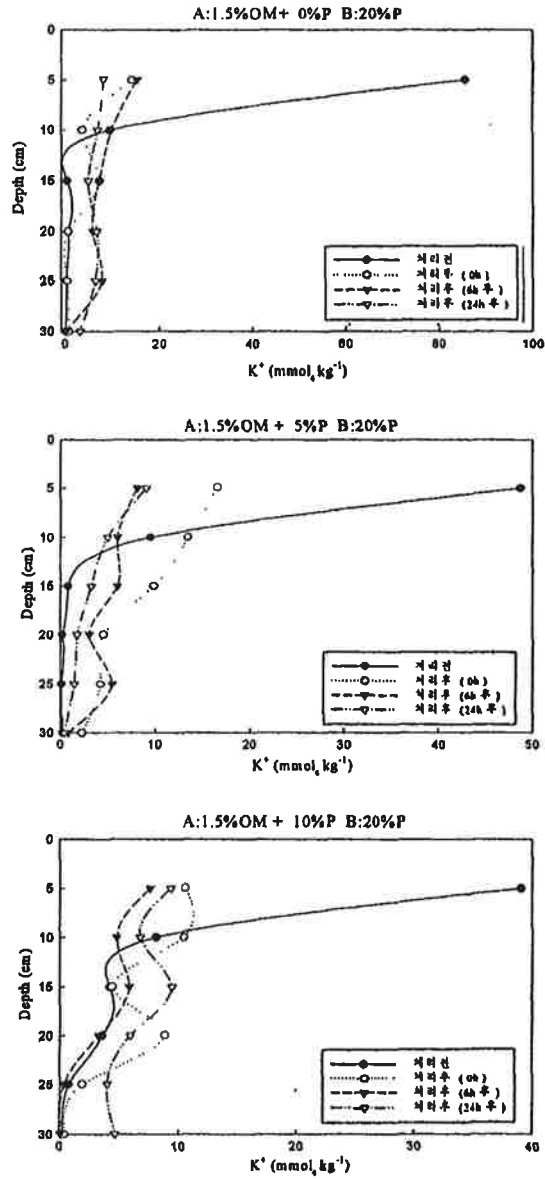
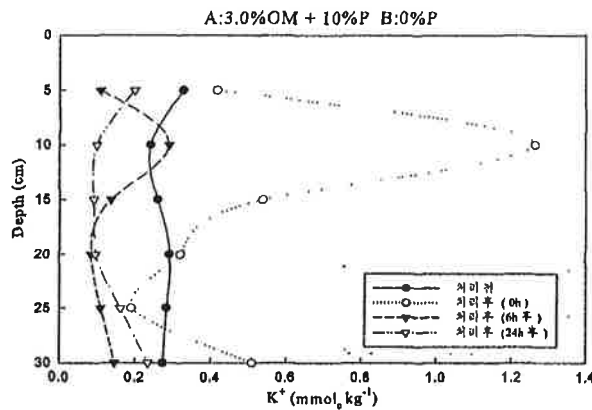


그림 5-20. Soil Bin의 층간 처리별 K 분포 특성(B층:20% 퍼라이트)

한편 B층에 40%의 펄라이트 처리시 20% 처리보다 동일 깊이내의 K 이온의 농도가 감소함을 알 수 있었다. 그리고 A층의 유기물 함량을 3%로 증가시키고 B층의 펄라이트 처리비율을 0, 20, 40%로 처리한 조사 결과를 살펴보면 동일한 처리 깊이내의 K 이온의 함량은 시간이 경과함에 따라 급격히 감소하는 경향을 보여주었으나 깊이가 깊어짐에 따라 K 이온의 이동이 하향하고 있다는 것을 알 수 있었다. 특히 A층의 K이온의 농도가 1.5% 처리시보다 높았는데 이는 A층내의 유기물에 의한 영향으로 판단되며 특히 동일하게 관수시 지표면으로부터의 infiltration은 B층의 펄라이트 처리비율이 높아짐에 따라 증가됨을 확인할 수 있었다.

따라서 A층의 유기물 처리비율은 유기물이 처리된 A층내의 K 이온의 분포에 영향을 미치나 이러한 A층내의 K이온의 분포는 B층의 펄라이트 처리비율 증가에 따라 감소됨을 확인할 수 있었다. 따라서 A층의 염류 집적을 해결하기 위해서는 B층 토양구조개선이 반드시 필요하다고 결론지을 수 있다.



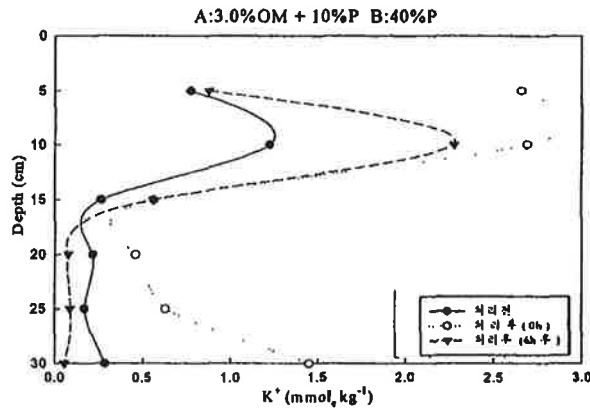
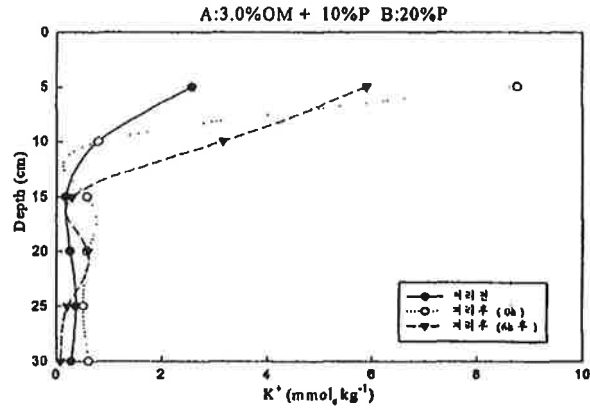


그림 5-21. Soil Bin의 층간 처리별 K 분포 특성(A층:3.0% OM)

이상의 연구 결과를 작물의 생육 조건, 용출수 성분 특성 변화 등을 고려하여 종합해 볼 때 펄라이트의 처리 조건은 표층 10 % 정도와 표층 이하 경반층이 발생하는 심층토의 경우 최소 35 %의 펄라이트를 처리시 가장 적합한 것으로 조사되었다.

## 제 6장 토양구조 모델 및 설계

### 제 1절 서론

시설재배지 토양에서 발생하는 염류집적, 답압 등에 의한 토양물리성 악화 그리고 관개수 관리는 시설재배지에서 생산되는 작물의 품질과 수량을 결정하는 주요 요인이다. 이러한 문제가 토양에 발생시 근권의 분포와 뿌리의 발달은 그림 6-1과 같다.

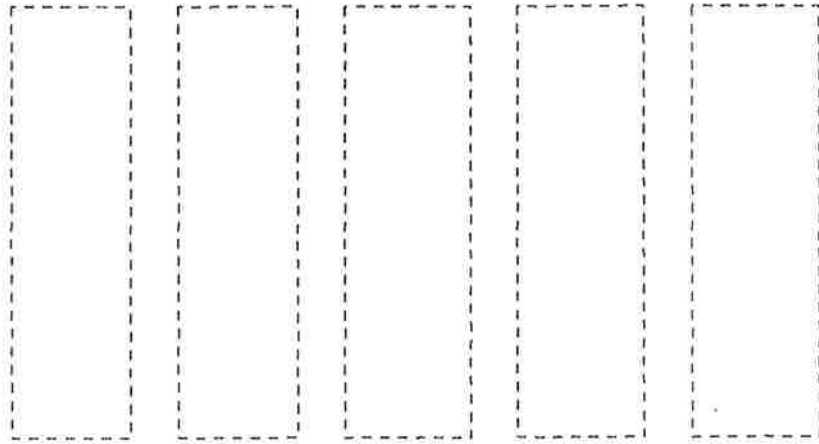


그림 6-1. 토양의 물리적 특성과 근군 발달

그러나 이러한 문제가 지속적으로 그리고 장기간 시설재배지에서 발생하고 있음에도 불구하고 이에 대한 뚜렷한 대책은 현재로서는 없는 실정이며 특히 대책이 있다 하더라도 농업의 특성상 비용이 많이 소요되는 경우 실제 농가에 권장하거나 농가가 수용하기가 어렵기에 농업 현장에서 적용되기 위해서는 비용이 저렴해야 하며 농업의 특성상 장기간 부차적인 처리 없이 사용하여야만 한다.

일반적인 토양의 단면과 구조는 그림 6-1에서와 같이 표층에서는 유기물의 집적이 많고 표층이하에서는 점토함량이 높은 B층이 발견된다. 그러나 토양의 사용정도와 관계, 강우 등에 의해 A와 B층 사이에 E층이 형성되는 경우(그림 6-2 우측)도 있다.

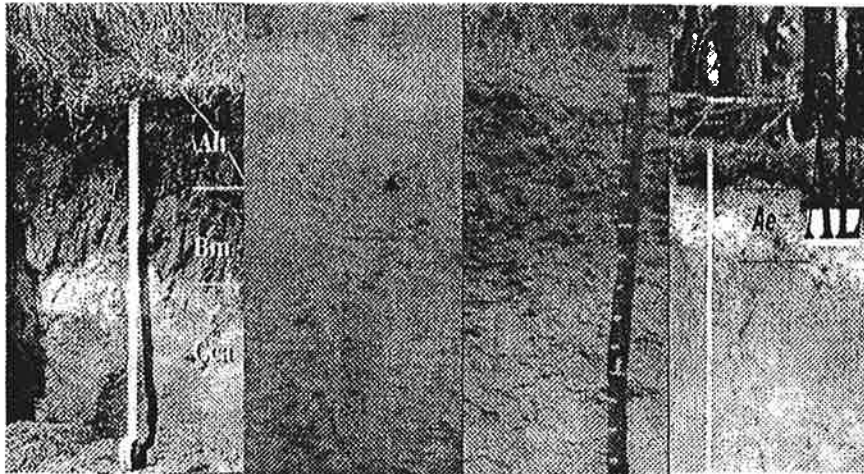


그림 6-2. 토양단면도

그리고 이러한 농경지를 토양의 개선없이 지속적으로 사용시 경우, 관계, 과비 등의 원인에 의해 경운층 이하의 한계 깊이 이하에 일정 두께의 경반층이 형성되어 물빠짐과 통기성 불량하게 된다. 따라서 경반층 위의 깊이에 지속적으로 점토 용탈(elluviation)이 일어나게 되어 지표면으로부터 토양의 깊이가 깊어짐에 따라 용적밀도가 증가하게 될 뿐만 아니라 수분과 이동에 통로가 되는 공극을 감소와 실제 유효공극의 감소가 일어나게 된다. 따라서 이러한 토양의 물리성 악화는 토양내 물질이동의 장애의 형태로 나타나게 된다(그림 6-3).

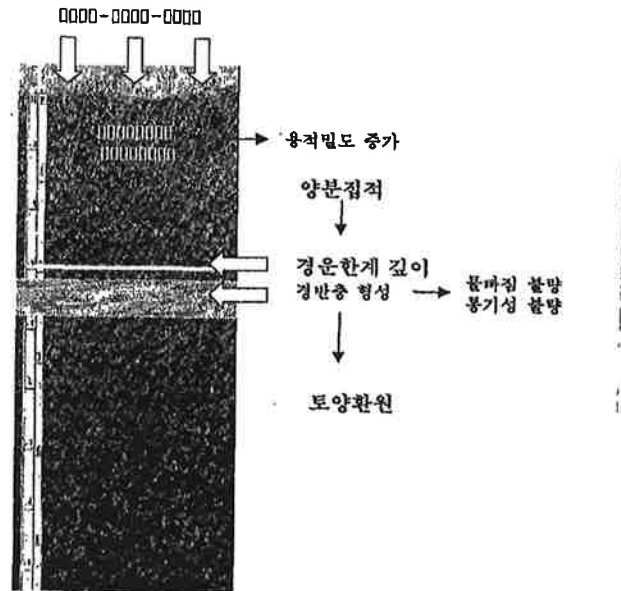


그림 6-3. 농경지 토양의 특성 변화 모식도

따라서 본 연구에서 지난 2년간 수행한 결과를 가지고 실제 농업현장에 적용할 수 있는 토양개선 방법을 제시하고자 한다. 그리고 이에 대하여 현장 적용시 소요되는 비용과 이에 대한 경제성도 분석해 보았다.

## 제 2절 토양구조 모델

### 1. 토양구조 개선 모델

일차적으로 시설재배지 현장에서 적용하기 위해서 고려할 사항은 다양한 시설재배지 토양의 토성을 고려하여야 하며 이에 따른 수분 관리 모형이 제시되어야 한다.

특히 이러한 관점에서 현장에서 발생하는 토양물리성 악화에 대한 고찰

은 반드시 필요하다. 본 연구에서 농작업 기계를 시설재배지 농지에 적용 시 작업시 발생하는 압밀의 특성을 살펴보았다 (표 6-4).

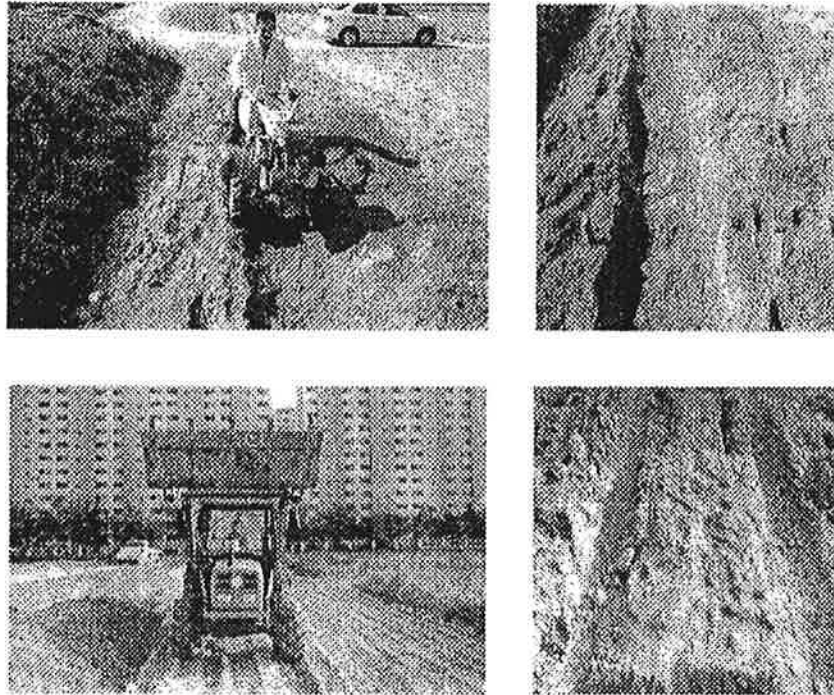


그림 6-4. 농기계 작업에 따른 농업토양압밀현상

경운에 의한 토양의 용적 밀도 변화는 표 6-1에 나타난 바와 같이 초기 토양은 경운 등에 의해서 낮은 용적 밀도를 나타내고 있지만, 경운의 횟수가 증가하고 토양의 표층으로부터 깊이가 깊어짐에 따라서 용적밀도가 증가함으로 15~20cm 이하의 깊이에서 일반적인 불투수층이 발달함으로써 (그림 6-3, 4, 표 6-1) 토양 수분의 이동 등에 많은 장애를 주는 것으로 조사되었다. 따라서 이러한 문제를 해결하기 위해서 일반적인 작토층( $A_p$ ) 이하에 새로운 토양개량층을 인위적으로 조사함으로 문제 해결에 대한 접근을 도모하였다.

그림 6-5에서와 같이 사양토의 토성을 가진 노지 토양에 D사의 트랙터(중량 2,365 kg, 타이어는 전륜 9.5-20-6PR, 후륜 14.\*9-28-8PR, 주행속도는 전진 0.11 km/h)의 조건하에서 토양의 압밀 형태를 용적밀도의 변화로 조사하였다.

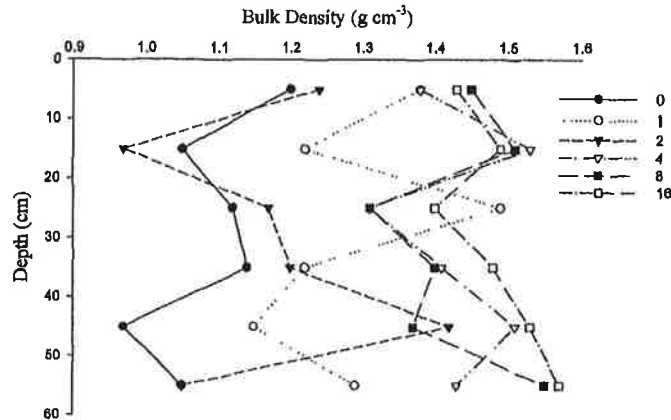


그림 6-5, 토양경운 회수별에 사양토성 토양의 용적밀도 변화 특성

1차 경운시 깊이별 토양의 압밀은 약 20 cm 이하에서 약 0.11 unit 정도 증가하였으며 2회 이상 깊이별 토양의 용적밀도는 급격히 증가하여 최종 16회 정도 경운시 토양 깊이 약 20 cm 위치의 용적밀도가 약 1.58 g cm<sup>-3</sup> 정도로 조사되었으며 이때 EIJKELKAMP Hand Penetrometer를 이용하여 조사시 이층을 통과하는데 1450 psi 이상의 압력이 요구되었다.

그리고 식양토 노지의 토양을 동일한 조건으로 1, 2, 4회 정도 경운 후 토양의 용적밀도를 최대 40cm 깊이까지 조사한 결과 (표 6-1) 동일 깊이에서 용적밀도는 경운회수가 증가함에 따라 증가하였으며 또한 깊이가 깊어짐에 따라 용적밀도도 증가하는 경향을 보여주었으며 유효경운층 이하인 깊이 20cm 이하에서의 용적밀도의 변화는 거의 없었다. 따라서 쟁기층 이하의 깊이의 토양은 지속적인 경운에 의해 용적밀도가 한계치까지 증가됨을 알 수 있다.



표 6-1. 경운 회수에 따른 무처리 식양토 깊이별 용적밀도 변화

토양깊이(cm)	용적밀도( $g/cm^3$ )		
	경운회수		
	1	2	4
5	1.02	1.15	1.21
10	1.16	1.21	1.41
15	1.43	1.61	1.69
20	1.46	1.63	1.69
25	1.47	1.64	1.67
30	1.47	1.64	1.66
40	1.47	1.61	1.65

그리고 노지에 지표면 20cm 깊이로 퍼라이트를 자연낙하의 상태로 처리한 후 동일한 트랙터로 1, 2, 4, 8회로 경운을 한 결과 퍼라이트의 용적밀도는 경운전  $0.13 g/cm^3$ 였으나 1회 경운 후에는 0.19, 2회 0.29, 4회 0.37, 8회 0.43으로 증가하였으나 그림에서 보는 바와 같이 경운회수가 증가됨에 따라 용적밀도의 증가비율은 감소되는 것을 알 수 있다. 따라서 퍼라이트를 처리시 단일 토양보다 용적밀도의 급격한 증가를 방지할 수 있을 것으로 판단한다 (그림 6-6).

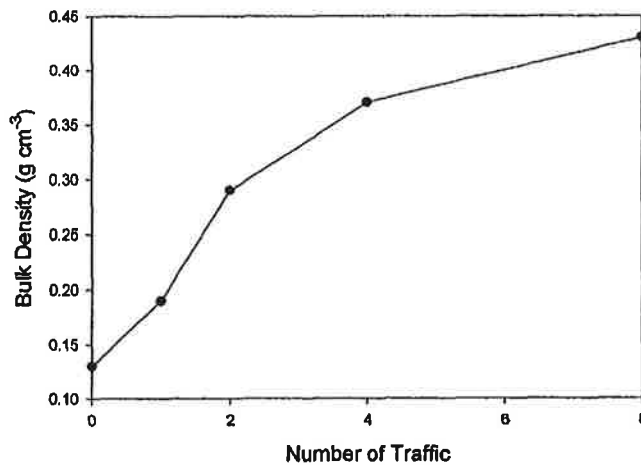


그림 6-6. 경운 회수에 따른 20 cm 퍼라이트 처리층의 용적밀도 변화

따라서 펄라이트 처리 적정비율을 조사하기 위하여 식토(clay)부터 사토(sand)의 5가지 토성의 토양과 중간입경의 펄라이트를 0%부터 100% 까지 5단계로 혼합한 후 용적밀도를 조사하여 보았다 (그림 6-7).

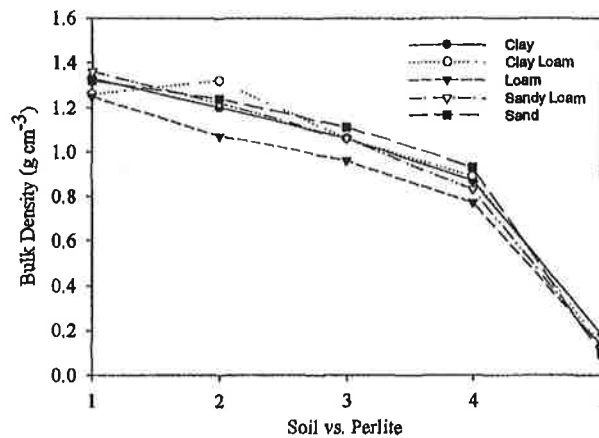


그림 6-7. 토성별 펄라이트 처리비율에 따른 용적밀도 변화

조사된 토성 모두 펄라이트 처리비율이 증가함에 따라 용적밀도는 감소하였으며 특히 펄라이트의 비율이 70% 이상일 때 용적밀도는 급격히 감소하였다. 그리고 일반적인 경운이 실시된 농지의 경우 표층 용적밀도는 1.1 내지 1.2 g cm<sup>-3</sup> 정도인데 이 범위에 해당하는 펄라이트 처리비율은 토양 대비 약 30내지 40% 인 것으로 조사되었다.

그리고 각각의 처리비율별 공극율을 상향포화에 의해 조사한 결과 그림 6-8에서 조사된 것과 마찬가지로 펄라이트의 처리비율이 증가됨에 따라 최고 0.59까지 증가되어 토양 100%와 비교시 약 123%의 공극율의 증가를 확인하였다 (그림 6-8).

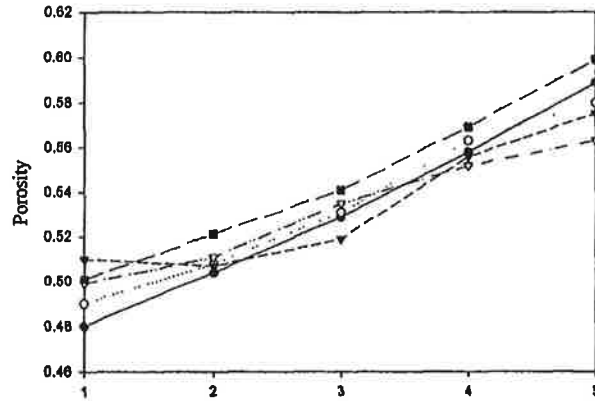


그림 6-8. 토성별 퍼라이트 처리비율에 따른 공극율 변화

한편 트랙터 바퀴 통과에 따른 용적밀도와 수분함량의 변화를 식양토와 양토를 대상으로 하여 조사한 결과 트랙터(동일 트랙터)가 도입되기 전 용적밀도는 식양토와 양토는 1.16과 1.14g/cm<sup>3</sup> 였으나 1Pass 후 용적밀도는 식양토와 양토는 1.47과 1.44g/cm<sup>3</sup>으로 급격히 증가하였으며 5 pase 후에는 1.48과 1.47로 증가는 했으나 1 pass와 비교시 용적밀도의 변화는 거의 없었다 (표 6-2).

표 6-2. 트랙터 바퀴 통과에 따른 용적밀도와 수분함량의 변화

Property	식양토				양토			
	1 pass		5 passes		1 pass		5 passes	
	이전	이후	이전	이후	이전	이후	이전	이후
Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	1.16	1.47	1.16	1.49	1.14	1.44	1.14	1.47
Water Content (%)	28	32	28	34	25	35	25	35

따라서 기계화 농작업시 기계하중에 의한 토양압밀의 조건은 초기 1 pass에 의한 용적밀도를 기준으로 토양구조 개선 설계를 하여도 그리 큰 문제점은 없을 것으로 판단한다.

한편 토양의 수리전도도는 염류이동에 중요한 역할을 한다. 따라서 현장과 실험실내 압밀 토양 수분함량과 수리전도도 변화 특성을 보면 압밀된 상태에서 포화수분과 포장용수량(FC)를 조사한 결과 포화는 약 45% 그리고 포장용수량은 약 30%인 것으로 조사되었으며 특히 용적밀도가 1.45g/cm<sup>3</sup> 이상으로 증가됨에 따라 수리전도도는 10<sup>-7</sup>cm/sec로 급격히 감소하였다. 따라서 시설재배지에서 심층토 (20cm 이하)의 용적밀도가 1.45g/cm<sup>3</sup> 이상으로 증가되지 않도록 농작업을 고려하여야 한다.

표 6-3. 현장과 실험실내 압밀 토양 수분함량과 수리전도도 변화 특성

Samples	Bulk Density (g/cm <sup>3</sup> )	Water Content (%)		K (cm/s)	b (param)
		Saturation	FC		
Field	1.44	0.45	0.29	3.5E-6	3.4
	1.46	0.45	0.34	8.0E-5	3.4
	1.75	0.34	0.30	2.7E-7	3.4
Lab	1.53	0.42	0.40	2.2E-5	3.1
	1.54	0.42	0.38	4.6E-5	3.7
	1.59	0.40	0.38	2.2E-5	3.9
	1.61	0.39	0.37	2.1E-6	4.2

### 제 3절 경반층 토양구조 개선 공정

제 2장부터 5장까지 조사 연구된 결과를 종합하여 다음과 같이 시설재배지 토양구조개선 공정을 제시하고자 한다.

1차적인 토양 구조 개선설계는 시설재배지의 Ap층을 기준으로 하여 기계화 경운에 유효 경운 깊이를 조사한 다음 유효경운 깊이 이하에 생성될 수 있는 경반층의 깊이를 추정하여야 한다. 제 2장에서 조사한 바와 같이 시설재배지에서 경반층 형성은 지표면으로부터 약 25cm 내외이나 이는 경운층 이랑을 만들면서 복토에 의한 추가 높이(평균 5cm 정도)를 산정하지

얕은 깊이이다.

따라서 실제 경운의 깊이는 국내에서 가장 많이 사용되는 트랙터의 경우 (중량 2,365 kg, 타이어는 전륜 9.5-20-6PR, 후륜 14.\*9-28-8PR, 주행 속도는 전진 0.11 km/h) 실제 경운의 깊이는 토양에 특성에 따라 다소 차이는 있으나 평균 13cm 정도인 것으로 보고되어 있다. 따라서 토양구조 개선 깊이는 지표면으로부터 최소 13 cm 이하의 깊이에서 시작되어야 하며 실제 토양구조개선 깊이는 본 연구 결과 이로부터 최소 20cm를 기준으로 하는 것이 바람직하다. 그러나 경우에 따라 Ap층 또한 토양 구조 개선을 해야 할 필요도 있다. 한편 토양구조개선층을 만들때 때 작기마다 경운에 의한 하중에 따른 토층의 깊이별 용적밀도의 변화를 고려하여 개선층의 깊이와 퍼라이트 처리량을 구하여야 한다.

그림 6-9는 예로 토양구조 개선시 고려할 사항을 도식화한 것이다. 예로 Ap층을 20cm라 가정시 경운에 의한 경반층의 형성 깊이를 추정하고 경반층을 포함하는 이하의 층의 토성과 수분함량을 조사하여 토양구조개선제 처리량과 균질한 혼합을 위한 경운회수를 결정하여야 한다. 이러한 선행 조사가 끝난 후 토양구조 개선작업을 실시한다.

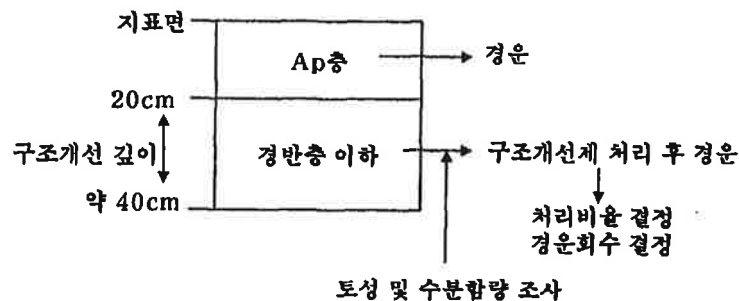


그림 6-9. 토양구조 개선을 위한 공정

현재 국내에서 제조판매되는 퍼라이트는 주로 3가지의 입경이 주를 이

분다 (표 6-4).

표 6-4. 국내 시판 펄라이트의 입경구분

입경구분 (mm)	용적밀도 (g cm <sup>-3</sup> )
0.00-1.70	0.184
1.70-3.35	0.132
3.35-4.75	0.128

각각의 시설재배지 개선구조 대상 토양에 따른 적정 펄라이트 처리비율은 처리 대상 토양의 토성 중 점토함량을 고려하고 이때 처리되는 펄라이트의 입경을 또한 고려해야 한다. 표 6-5는 점토함량과 처리되는 펄라이트 입경별 처리비율을 나타낸 것이다.

점토 함량이 30%인 식양토의 하중별 압밀 특성, 수리전도도, 공극률 등의 결과를 기준시 가장 경제적으로 처리할 수 있는 펄라이트의 입경은 1.70-3.35mm로 조사되어 토양구조개선에 사용되는 펄라이트는 입경이 1.70-3.35mm를 기준으로 결정하였다.

표 6-5. 국내 시판 펄라이트의 입경구분

입경구분 (mm)	처리비율	비고
0.00-1.70	기준 대비 115-120 %	(주) 삼손 펄라이트 제품 참고
1.70-3.35	기준	
3.35-4.75	기준 대비 최소 95% 이상	

따라서 토양구조개선시 사용되는 펄라이트의 입경은 1.70-3.35를 기준 하며 이를 기준으로 처리되는 입경별 펄라이트의 처리비율은 1.70-3.35mm 보다 1.7mm 이하의 펄라이트는 약 15 내지 20% 정도 더 처리하여야 하며 3.35 mm 이상의 펄라이트는 거의 유사한 양의 펄라이트를 처리해야 한다.

현재 국내의 시설재배지는 주로 답(깎)전환이 주를 이루고 있으며 지역

간 차이에 따라 토성이 다양하다. 따라서 토성별 점토함량 변이가 심하여 일정 처리가 불가능하다. 그러므로 토양구조개선시 퍼라이트 처리비율은 반드시 토성조사 후 점토함량을 고려하여 처리비율을 결정하여야 한다. 또한 시판되는 퍼라이트 입경이 제조사별로 차이가 있어 이에 대한 것을 고려해야 한다.

연구 조사 결과 각각의 토양의 점토함량을 기준으로 최소 85% 최대 120% 정도를 처리하는 것이 바람직하며 예로 처리하고자 하는 퍼라이트의 대표 입경은 최소 70% 이상 소재하는 퍼라이트를 기준하여야 한다.

일례로 토양구조개선 대상층의 토성이 식양토로서 점토함량이 30%인 B층에 대표입경의 크기가 1.70-3.35mm에 해당하는 부분이 약 80% 정도라 가정하면 실제 퍼라이트 처리량은 공식 6-1에서 구한 총량의 약 1.15배 정도를 처리하는 것이 바람직하다. 그리고 토양구조개선이 적용될 토양의 토성별 퍼라이트 처리량은 표 6-6과 같다.

표 6-6. 퍼라이트 대표입경비율별 적정 퍼라이트 처리 기준

입경크기 (mm)	대표입경비율(%)				
	100	75	60	45	30
0.85	점토함량 x 1.25	점토함량 x 1.75	점토함량 x 2.0	점토함량 x 2.4	점토함량 x 2.8
2.53	점토함량 x 1.0	점토함량 x 1.2	점토함량 x 1.5	점토함량 x 1.9	점토함량 x 2.5
4.05	점토함량 x 0.9	점토함량 x 0.7	점토함량 x 0.6	점토함량 x 0.5	점토함량 x 0.4

이상의 결과를 종합하여 처리량을 환산하는 공식은 6-2와 같다.

퍼라이트 처리량 =  
 예정 B층 처리깊이(cm) × 처리면적(평) × 3.3㎡  
 × 대표입경 퍼라이트 처리비율 (%) × 0.0001 (공식 6-2)

일례로 300평 (1000㎡)에 토양구조 개선 대상 깊이를 20cm로 정하고 입경 1.70-3.35mm의 퍼라이트를 약 25%를 처리하고자 한다면 처리량은 다음과 같다.

$$300\text{평} \times 3.3 \text{ m}^2 \times 20\text{cm} \times 25(\%) \times 0.0001 = 50 (\text{m}^3)$$

이를 시중에 상품으로 판매되는 포장단위(100리터 1포)를 기준시 약 500포 정도가 된다. 그리고 A층의 깊이를 기준하여 B층의 퍼라이트를 처리하고자 할 때는 반드시 기계하중에 의한 토양의 압밀을 우선 고려하여야 하며 이를 표 6-7에 나타내었다. 표 6-7은 Ap층을 15cm로 정하고 B층의 깊이를 10cm부터 5cm 간격으로 최고 30cm까지 B층에 토양구조 개선층을 만들고자 할 시 표준 입경퍼라이트 1.70-3.35mm를 처리시 처리비율을 정한 것이다.

표 6-7. A층과 B층의 깊이 대비 퍼라이트 처리비율별 처리예 (단위 : m³)

A층 (cm)	B층 (cm)	퍼라이트 처리비율(%)							
		10	15	20	25	30	35	40	50
15	10	10	15	20	25	30	35	40	50
	15	15	22.5	30	37.5	45	52.5	60	75
	20	20	30	40	50	60	70	80	100
	25	25	37.5	50	62.5	75	87.5	100	125
	30	30	45	60	75	90	105	120	150



그리고 A층의 깊이를 5cm 정도 높일 때마다 펄라이트의 처리비율은 표 6-7의 환산표 중 해당하는 처리깊이와 펄라이트 처리비율에 1.15를 곱하여 처리비율을 정하면 된다.

예) 표층 20cm 심층 20cm

표준 펄라이트 처리비율 (15cm-20cm) \* 1.15 (공식 6-3)

이상과 같이 펄라이트 처리량이 구해지면 다음과 같이 토양구조 개선 작업을 실시한다.

1) 개선하고자 하는 토양의 토성을 조사하여 점토함량을 구한다.

이때 처리하고자 하는 깊이의 토양 부피수분함량을 조사하여 부피수분함량이 15%를 넘을 경우 토양을 뒤집기하여 부피수분함량이 15% 이하로 될 때까지 수분함량을 저하시킨 후 작업을 실시한다. 현장에서 촉감에 의한 수분함유량 측정은 처리하고자 하는 깊이의 토양을 채취하여 엄지와 검지를 이용하여 힘을 가했을 때 손가락 안에서 부서져 가루가 되면 적정하다 (그림 6-10).

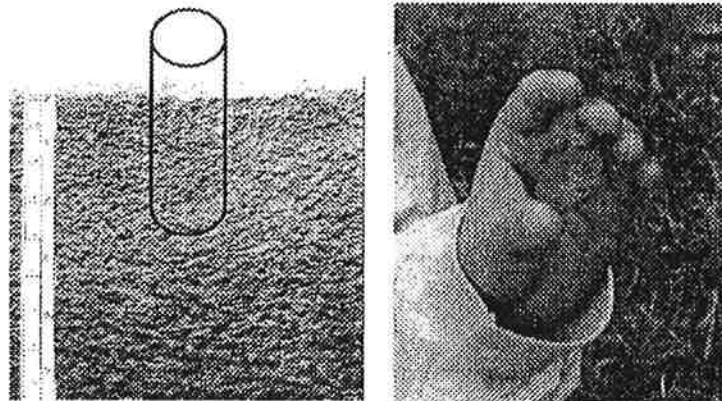


그림 6-10. 토양시료 채취(좌) 및 감축에 의한 토양수분 측정(우)

2) 처리하고자 하는 펄라이트의 대표입경을 조사한다.

이때 입경을 조사하는 방법은 표준체 (그림 6-11)를 이용하여 조사하거나 상품별 회사에 문의하여 대표입경의 범위를 구한다. 이 대표입경을 가지고 표 8-5에 제시한 비율을 산정하여 적정량을 구매한다.

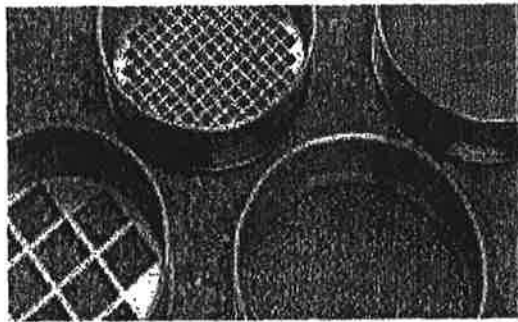


그림 6-11. 펄라이트 입경분포 특성 조사 표준 체

3) 처리 깊이를 결정한 다음 공식 1에 준하여 적정량을 산정한 후 이를 다시 2)에서 조사한 대표 입경별 처리비율로 환산하여 최종 처리량을 구한다.

4) 처리하고자 하는 토양의 깊이까지 토양을 제거한 후 (그림 6-12 좌) 제거된 토양의 바닥면에 처리하고자 하는 펄라이트 균일한 높이로 깐다(그림 6-12 위). 이때 토양을 제거하는 데에는 트랙터 또는 중장비를 이용하여 토양을 제거하는 작업을 할 수도 있다.

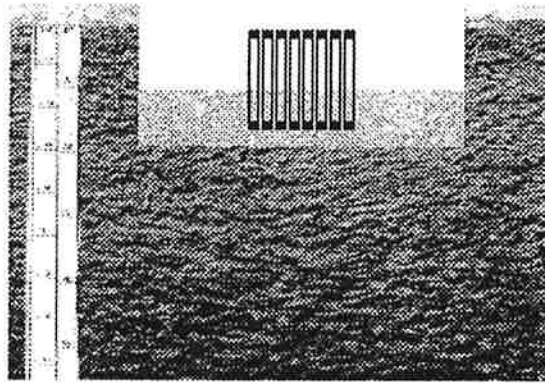


그림 6-12. 표층토 제거 및 퍼라이트 처리

- 5) 퍼라이트를 처리한 토양을 2회정도 경운을 한다. 이때 적절한 경운은 치출날을 가진 장비로 경운하는 것이 바람직하다.

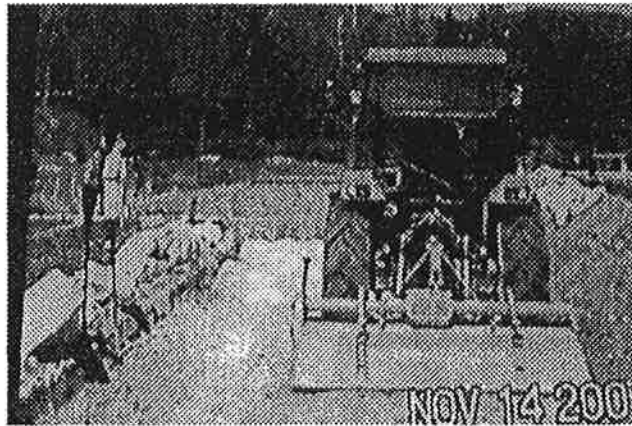


그림 6-13. 퍼라이트 처리 토양 경운 장면

- 6) 이 위에 제거하였던 토양을 1/2 정도 다시 덮은 후 1회 경운을 한 후 다시 나머지 1/2의 토양을 덮고 1회 정도 다시 경운을 한다.

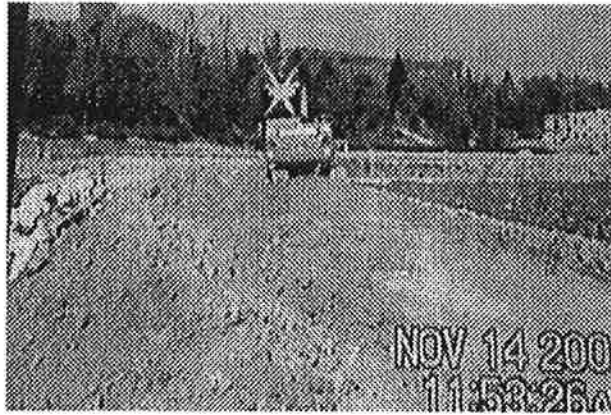


그림 6-14. 표층 복토 및 경운





그림 6-15. 토양구선개선 작업 종료 후 최종 시설재배지

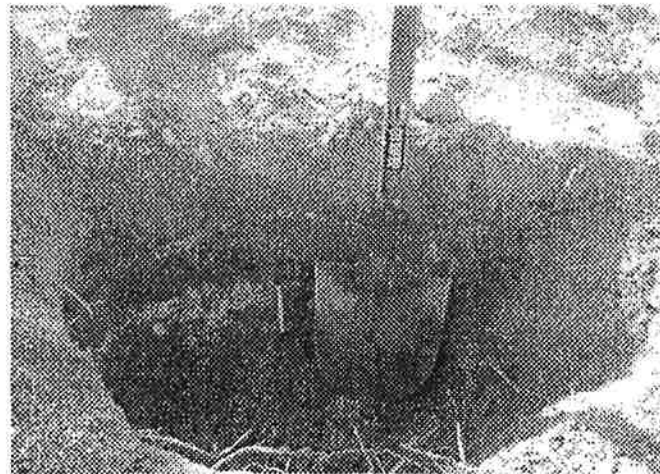


그림 6-16. 완성된 토양구조 개선층 단면도

- 7) 완성된 토양구조개선 시설재배지 관개는 관행방식에 따르며 매 작기마다 수확 후 개선된 토양구조층에 대하여 정기적인 토양물리성 검정을 실

시하는 것이 바람직하다. 이때 조사 항목은 용적밀도와 실제 유효공극율을 조사하는 것이 바람직하다.

그리고 이러한 작업이 용이하지 않을 시 탐침을 이용하여 토양의 압밀도를 조사하는 것도 한 방안이다. 결론적으로 본 연구에 제시된 개선토양 구조는 1년 3작기를 기준하여 최소 9작기를 기준하였으며 9작기 이후는 토양조사를 실시하여 재개선작업을 실시한다. 이때 적용되는 기준은 토양의 용적밀도가  $1.4\text{gcm}^{-3}$ 을 초과하는 압밀층을 대상으로 하여 토양 개선구조작업을 실시하며 펄라이트 사용량은 1차 토양구조개선 작업에 소요되었던 양의 약 1/2을 기준으로 하는 것이 바람직하다.

## 참 고 문 헌

1. 정연태, 엄기태, 신용화. 1976. 우리나라 남해안에 분포된 간척지 토양의 특성에 관한 연구. (구포릉에 관하여) 한토비지 9(2): 99-105
2. 노대철, 김동한, 엄기태등. 1985. 간척년대별 토양의 이화학성 변화 연구 농시보고 28(1) :20-27
3. 농수산부. 1976. 간척자원 제5차 조사결과서 남해안 농지개발사업 예비 조사 보고서:145
4. 소재돈, 유숙중, 김한명등 1980, 서남해안 신간척지 토양의 특성에 관한 연구, 농시년보 22:24-30
5. 조영길, 전홍용. 1990. 식질발토양의 구조개선에 관한 연구. 농업기술연구소 시험연구보고서(토양물리) 164~166
6. 조영길, 전홍용. 1991. 식질발토양의 구조개선에 관한 연구 농업기술연구소 시험연구보고서(토양물리) 142 ~147.
7. 조인상, 김이열, 최대용, 임정남, 엄기태. 1983. 토양의 물리성이 대맥의 뿌리분포에 미치는 영향. 한토비지16(2):126-130.
8. 조인상, 조성진. 1984. 토양개량제 Uresol 및 Bitumen 처리가 토양의 수분이동과 유실에 미치는 영향. 토양입단의 안정성과 보수력 변화. 한토비지 16(4):294-300.
9. 조인상, 허봉구, 유관식, 엄기태, 조성진. 1987. 토양개량제 처리가 토양의 물리성과 대두수량에 미치는 영향. 한토비지20(1):29-34.
10. 조인상, 현병근, 조현준, 장용선, 신제성. 1997. 토성과 용적밀도가 최소생육제한수분범위에 미치는 영향. 한토비지30(1):51-55.
11. 류인수, 한정림, 조인상. 1995. 토양개량제 처리가 토양물리성 및 상추생육에 미치는 영향. 한토비지. 28(3):249-255.



12. 조인상, 조영길, 민경범, 엄기태, 조성진. 1989. 토성 및 유효토심의 차이가 토양수분 변화에 미치는 영향. 농시연보 31(1) : 6~13
13. 류순호. 1989. 담수토양계에서 염분의 이차원적 확산. 한국토양비료학회지 9권 1호
14. 류순호. 1977. 干拓地 除鹽過程에서 일어나는 토양의 水理傳導導와 流出液의 化學的 특성변화에 관한 실험적 연구. 한국토양비료학회지 8권 2호
15. 류순호. 1988. 담수에 의한 비닐하우스내 토양의 제염. 한국토양비료학회지. 21권 1호
16. 하호성 외 3인. 1997. 남부지방 시설재배지 토양의 염농도 특성. 한토비지. 30(4)
17. 황선웅 외 4인. 1993. 몇가지 제염방법에 의한 비닐하우스내 토양의 염류제거효과. 농시논문집 35(1)
18. 김필주 외 2인. 1997. 깊이별 용적밀도가 다른 시설재배지내 토양의 염류분포. 한토비지 30(3)
19. 김필주 외 2인. 1997. 토양의 용적밀도 변화에 따른 포화수리전도도 및 음이온의 용출 특성. 한토비지. 30(3)
20. 임정남 외3인. 1982. 콩-보리 작부 체계하에서의 대기증발요구 및 토양수분 함수의 증발산량. 한토비지 15(4) : 213~220
21. 민경범, 허봉구, 이기상, 조인상, 엄기태, 박천서. 1986. 점토함량과 시비수준이 수도수량에 미치는 영향. 28(1) : 13~19
22. 농업기술연구소 1992. 토양조사자료 13. 증보한국토양총설 725p.
23. 조인상, 임정남, 소재돈, 이선용, 최재용. 1983. 하해혼성 식양질답에서 토양물리성개선이 수도 수량에 미치는 영향. 한토비지 16(2) : 92~97
24. 조인상, 김이열, 유관식, 임정남, 엄기태, 곽영식. 1984. 점토함량 간 이측정기 개발. 한토비지 17(4) : 325~329
25. 조인상, 조영길, 전홍용, 이협성, 엄기태. 1993. 경반층과원의 심토파

- 쇄에 의한 토양물리성개선과 배수량변화. 농업논문집 35(2) : 256~260
26. 조인상, 이협성, 현근수. 1992. 과수원 토양의 물리성 개선 연구. 농기연보. p114~119.
27. 조인상, 조영길, 엄기태. 1993. 신간척지에서 객토 및 모래피복과 작물생육 농업논문집 35(1) : 270~275
28. 곽한강. 1997. 참외 연작장해 대책을 위한 효과적인 토양관리. 한토비지 30(4): 351-356.
29. 권장식. 1998. 염류집적 시설재배지의 토양미생물상 평가. 한토비지 31(2): 204-210.
30. 김이열. 1998. 시설재배지 생산성 저해요인의 토양학적 해석. 시험연구사업보고서. 농업과학기술원 농업환경부편. p385~391.
31. 김이열. 2000. 실용 토양학. 삼부출판사. 313~328.
32. 김종균. 1996. 시설염류장해지의 심토반전 깊이와 시비량 구명. 농업논문집 38(1): 370-375.
33. 농림부. 1999. 농림업주요통계. p278-283.
34. 농업과학기술원. 2000. 토양 및 식물체 분석법. 행정간행물.
35. 이한생. 1987. 하우스 토양염류 과잉피해경감대책시험. 농사시험연구보고서(경남도원). p409-41.
36. 정석재, 임상규, 박창서, 현근수, 강장수. 1993. 담전운환의 토양기준 설정 및 분포조사. 농기연보. p89~100.
37. 조인상. 1976. 토양경도에 관한 연구. 농업기술연구소. 농시연보. p87-124.
38. Klocke, N.L. and P.E. Fishbach. 1984. *Estimating Soil Moisture by Appearance and Feel*. NE. Coop. Ext. Serv. NebGuide G83-690.
39. Ritchie J. T., 1977. Contribution of the surface energy balance in climatic stress for agriculture, climate-technology seminar proceedings, Univ. Mo, Columbia, 56-79.
40. Grath, T. 1997. Effects of soil compaction on plant nutrition uptake and growth of peas and barley on a sandy loam. Society of

Swedish Journal of Agricultural Research, 1997:27(2):95-104

41. Swartzendruber, D. 1997. Fractal concepts in relation to soil water diffusivity. Soil Science, 162(11):778-784

42. Oster, J. D., J. L. Meyer, L. Hermsmeier, and M. Kaddah. 1986. Field studies of irrigation efficiency in the Imperial Valley. Hilgardia. 54(7): 1-15.

43. Oster, J. D., J. Letey, and K. Knapp. 1990. Economics of drainage water reduction. Proceedings of National Conf. on Irrigation and Drainage. ASAE. Durango, CO. July 11-13, 1990. pp 427-434.

44. Wichelns, D., and J. D. Oster. 1990. Potential economic returns to improved irrigation infiltration uniformity. Agric. Water Management 18:253-266.

45. Tracy, J. E., J. D. Oster, and R. J. Beaver. 1990. Selenium in the Southern Coast Range of California: Well Waters, Mapped Geological Units, and Related Elements. J. Env. Qual. 19:46-50.

46. Oster, J.D., R. G. Evans, C. J. Smith, J. B. Prendergast, and B. Myers. 1991. Infiltration variability of a furrow irrigated Lenmos loam using permanent furrows. National Symposium on Preferential Flow, Chicago, Ill.

47. Smith, R. B., J. D. Oster, and C. Phene. 1991. Subsurface drip produced highest net return in Westlands area study. Cal. Agr. 45(2):8-10.

48. Fulton, A. E., J. D. Oster, B. R. Hanson, C. J. Phene, and D. G. Goldhamer. 1991. Reducing drainwater: Furrow vs. subsurface drip irrigation. Cal. Agr. 45(2):4-8.

49. Oster, J. D., M. J. Singer, A. Fulton, W. Richardson, and T. Pritchard. 1992. Water penetration problems in California Soils: Prevention, Diagnoses, and Solutions. Kearney Foundation of Soil Science, University of California Division of Agriculture and Natural Resources. 166 p.
50. Oster, J.D., R. B. Smith, C. Phene, A. Fulton, S. W. Styles, and T. Fernandes. 1993. Irrigation methods for drainage reduction: Subsurface drip vs. furrow irrigation. 15th ICID Congress, The Hague, September 1993.
51. Letey, J. and J. D. Oster. 1993. Subterranean disposal of irrigation drainage waters in western San Joaquin Valley. In Richard G. Allen (ed.). ASCE, 1993 National Conf., Management of Irrigation and Drainage Systems: Integrated Perspective. July 21-23, 1993. Park City, Utah. pp 691-697.
52. Oster, J.D. 1993. Sodic soil reclamation. In: H. Lieth and A. Al Masoom (eds). Towards the Rational Use of High Salinity Tolerant Plants. Kluwer Academic Publishers. Printed in the Netherlands. Vol. 1:485-490.
53. Oster, J.D. 1994. Irrigation with poor quality water. Agricultural Water Management 25:271-297.
54. Oster, J.D. 1994. Management of irrigation water and its ecological impact. Trans. 15th World Congress of Soil Science, Vol. 3a:332-345.
55. Oster, J.D., I. Shainberg and I.P. Abrol. 1996. Reclamation of salt-affected soil, Ch. 14. In: M. Agassi (ed.). Soil Erosion,

Conservation, and Rehabilitation, Marcel Dekker, Inc, New York, pp 315-351.

56. Oster, J.D. and N.S. Jayawardane. 1991. Agricultural management of sodic soils, Ch. 8. In: M.E. Sumner and R. Naidu (eds.). Sodic Soils: Distribution, Processes., Management and Environmental Consequences. Oxford University Press. 97 manuscript pages.

57. Oster, J.D. 1992. Book review of "Soil salinity and water quality," by R. Chhabra. Agricultural Water Management, Elsevier Sciences, Oxford, England.

58. Smith, D. L. O. (1987) Measurement, interpretation and modelling of soil compaction. Soil Use and Management. 3. 87-93

59. Reeve, R. C., and E. J. Doering. 1966. The high-salt-water dilution method for reclaiming sodic soils. SSSA 30(4)

60. Doering E. J., and R. C. Reeve. 1965. Engineering aspects of the reclamation of sodic soil with high salt water. P. Am. Soc. Civil Engr. 4.

61. Quirk, J. P., and R. K Schofield. 1955. The effect of electrolyte concentration on soil permeability. Soil Sci. 6(2)

62. Simunek, J. 1997. Sodic soil reclamation using multicomponent transport modeling. J. Irri. Drainage. Eng. 123(5)

63. Dudas, G. R. 외. 1981. long term leachability of selected elements from fly ash. Environ. Sci. Tech. 15(7)

64. Dutt, G. R. 외. 1972. Prediction of gypsum and leaching requirements for sodium affected soils. Soil Sci. 114(2)

65. Jayawardane, N, S. 1992. Prediction of unsaturated hydraulic

- conductivity changes of loamy soil in different salt solutions by using the equivalent salt solutions concept. Aust. J. Soil. Res. 30.
66. Agassi, M. I. 외. 1981. Effect of electrolyte concentration on infiltration rate and crust formation. SSSA. 45(1)
67. Ghodrati, M. 1997. Preferential transport of solute through soil columns containing constructed macropores. SSSA. 61(5)
68. Czapar, G.F., R. Horton, and R.S. Fawcett. 1992. Herbicide and tracer movement in soil columns containing an artificial macropore. J. Environ. Qual. 21:110-115.
69. Jean, F.C. and J.E. Weaver. 1924. *Root behavior and crop yield under irrigation*. Carnegie Inst. of Wash. D.C. 66 pp.
70. Jones, A.J., E.C. Dickey, D.D. Eisenhauer and R.A. Wiese. 1987. *Identification of Soil Compaction and Its Limitations to Root Growth*. NE. Coop. Ext. Serv. NebGuide G87-331.
71. Jones, A.J., R.D. Grisso, and C.A. Shapiro. 1988. *Soil Compaction...Fact and Fiction Common Questions and Their Answers*. NE. Coop. Ext. Serv. CC 342.