

# 관재료 및 피복재료별 농경지 암거배수 효과 분석

## Analyses of subsurface drainage effects of farmland with respect to pipe and envelop material

鄭 相 玉 \*  
Chung, Sang Ok

### Summary

Analyses of subsurface drainage effects of farmland with respect to pipe and envelop material are made by the laboratory experiments using soil box to give basic information for the subsurface drainage system planning and design. Three different diameter PVC perforated pipes and a mesh pipe are used with envelop materials such as sand, rice bran, and crushed stone.

Steady state subsurface drainage flow rate increased as envelop material changed from sand to rice bran and crushed stone. This indicates that as the hydraulic conductivity of the envelop material increases, the drainage flow rate increases. On the other hand, for a given envelop material, the mesh pipe which has the largest opening area shows the largest flow rate while small diameter PVC pipes show small flow rates. This tells that as the opening area and pipe diameter increase, the flow rate increases, too. Therefore, selection of pipe and envelop material should be made in accordance with the design drainage flow rate.

Unsteady state subsurface drainage flow rate with respect to time differs for different envelop material. In case the sand was used as an envelop material, the small diameter PVC pipes show larger flow rates than the large diameter PVC pipe and mesh pipe. When the rice bran was used, the mesh pipe shows the largest flow rate, while small diameter pipes show smaller flow rates. In case the crushed stone was used as an envelop material, the large diameter PVC pipe and mesh pipe show larger flow rates, while small diameter pipes show a little bit smaller flow rates. However, the variation of flow rates among different pipes is the smallest when the crushed stone is used.

The flow rate curve with respect to the pipe changes little for the crushed stone envelop which has a large hydraulic conductivity, while that changes much for the sand and rice bran envelops. However, it is difficult to draw a consistent relationship between the

---

\*경북대학교 농과대학

키워드 : 암거배수, 암거관, 피복재, 배수량

drainage flow rate and pipe for all the envelop materials.

Since the subsurface drainage experiments are made only under the restricted laboratory condition in this study, further study including field experiment is required.

## I. 서 론

영농관리의 효율화와 생산성의 향상을 위하여는 저습 농경지의 배수가 매우 중요하다고 하겠다. 경지배수는 지표배수와 지하배수로 나눌 수 있으며, 지하배수는 개거 또는 암거를 사용하여 수행할 수 있다. 우리나라의 경지면적중 지표 배수개선이 필요한 면적은 127천 ha에 달하고 있으며 이중 배수시설이 완료된 지역은 51천 ha로 전체 필요 면적의 40%에 해당되며, 지하 배수개선이 필요한 면적은 80천 ha에 달하나 실적은 1천 ha에 불과하여 대상면적의 1%에도 미치지 못하고 있는 실정이다 (김철기, 1992).

우리나라는 식생활 패턴의 변화로 쌀 소비는 줄어드는 반면 채소와 과일의 소비는 늘어나므로 앞으로 논밭 전환이 가능한 범용경지의 수요가 늘어날 것이 예상되는 바, 범용경지화에 필수적인 암거배수의 필요 면적이 크게 증가하게 될 것이 예상된다. 또, 간척지의 배수개선과 높은 지하수위의 강하를 위하여는 지하 암거배수가 필수적이라 하겠다.

한편, 미국에서는 콩과 옥수수 생산의 대부분을 차지하고 있는 중서부지방에서 지하수위가 높고 저습한 경지가 많아 암거배수 시설에 많은 투자를 하고 있다. 미국에서는 적어도 44(10<sup>6</sup>) ha는 인공적으로 배수를 하고 있으며, 이 중 최소한 12(10<sup>6</sup>) ha는 지하배수를 하고 있다.

암거관 재료 선택시 고려하여야 할 사항으로는 재료의 파괴강도 및 휨강도, 내식성, 토양의 종류, 부등침하 유무, 암거조직, 시공방법, 기상조건, 자재구입의 난이도, 공사비, 및

공기 등이 있다. 일본에서 시공된 암거배수의 관재료는 전국적으로 볼때 합성수지가 60%, 토관이 23%, 도관이 11%, 기타(시트관 등) 6%로 되어 있어 합성수지계인 폴리에틸렌(PE)관과 염화비닐(PVC)관이 제일 많이 사용되고 있다 (일본전지농업진흥회, 1989).

한편, 일본에서의 피복재료 사용실태는 왕겨가 45%, 벚짖 20%, 쇠석 9%, 나뭇가지 7%, 이들의 혼합과 무재로 등이 19%로 되어 있어 왕겨가 가장 많이 사용되고 있다. 왕겨의 이점은 입수가 용이하고 투수성이 큰 점이다 (일본전지농업진흥회, 1989).

그러나 우리나라에서는 암거관 재료 및 피복재료에 따른 배수효과에 대한 연구가 거의 없어 암거배수의 계획 설계 실무에 많은 어려움이 있으리라 생각된다. 따라서 본 연구에서는 농경지 지하배수의 관재료 및 피복재료별 배수효과를 조사하기 위하여 실험실에서 토양조를 이용한 실험 관측을 통하여 여러가지 관재료와 피복재료의 조합에 대한 지하배수효과를 조사 분석하였다. 또, 지하 암거배수에 있어서 배수 파이프의 피복재(envelop)로 왕겨, 모래, 및 쇠석을 이용하였을 때 암거배수의 효율을 규명하여 앞으로 우리나라의 농지 기반정비 사업중 지하 암거배수의 계획과 설계를 위한 기초자료를 제공하고자 한다.

## II. 연구 사

농경지 지하배수에 대한 연구는 미국과 일본등 선진 외국에서는 매우 활발하게 수행되고 있으나, 국내에서는 아주 미미한 실정이다. 미국에서는 중서부 지방을 중심으로 많은 지

역에 지하배수 시설을 많이 시공하였을 뿐만 아니라 이 분야에 대한 연구도 매우 활발하다. Mohammad and Skaggs(1983) 암거관의 개구부가 암거유량에 미치는 영향에 대한 연구를 하였으며, Susanto and Skaggs(1995)는 지금까지 명확하게 규명되지 않았던 암거관 바로 주위에서의 수두손실에 대한 연구결과를 발표하였다. 또 최근에 Belcher and D'Itri(1995)는 지하관개와 통제배수에 대한 학술대회를 개최하고 논문집을 발간하였다.

일본에서는 1960년대 후반부터 쌀 생산 과잉이 되기 시작하여 식량자급의 균형유지를 위하여 논을 밭으로도 이용할 수 있는 범용경지로의 전환을 많이 유도하고 있다. 일본의 전 논 면적 280만 ha중 현재 100만 ha이상이 범용 경지로 이용되고 있다. 이를 위해서 일본에서는 논밭 전환이 가능한 경지 범용화에 많은 투자를 하고 있으며, 근래에는 경지범용화에 필수적인 암거배수 시설을 매년 약 3만 ha씩 시공하고 있으며, 지금까지 총 50만ha 정도 암거배수 시설을 완료하였다. 따라서 일본에서는 지하 암거배수에 대한 연구가 활발히 수행되고 있으며 특히 대관부립대학과 산구대학 농지정비조성학연구소에서 암거배수에 대한 연구를 많이 하고 있다.

암거배수의 효과는 암거관의 매설 깊이와 간격, 토양의 물리적 특성 및 기타 암거 계통의 기하학적 형상에 지배 받는다. 암거배수의 설계는 먼저 포장의 배수조건을 결정한 후, 계획 1일 암거배수량을 결정하고 그 다음 암거매설 깊이와 간격을 결정하게 된다.

암거배수는 농경지로부터 과잉수를 배제하기 위하여 지하에 도수관을 매설하여 과잉수를 배제하여 토지를 건조시키는 방법이다. 암거관에 의한 지하배수 계통은 Fig. 1(a)와 같으며 지하 암거배수관에 의한 배수량의 계산은 지하수위의 위치에 따라 Kirkham 또는 Hooghoudt 공식을 이용할 수 있다. 지하수위

가 지표면 위까지 올라와 있을 때에는 다음의 Kirkham 공식을 이용하여 암거관 배수량을 단위 지표면적당 유량으로 나타낼 수 있다.

$$q = \frac{4\pi K_e(t+b-r_e)}{G \times L} \dots\dots\dots(1)$$

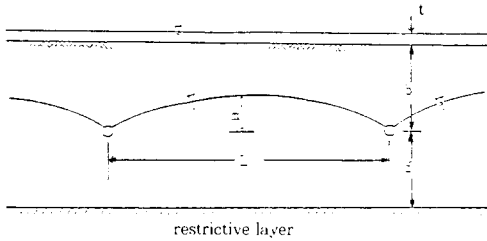
여기서 q는 단위 지표면적당 암거관 배수량 (m/s),  $K_e$ 는 등가 수평투수계수 (m/s), t는 지표면 위의 담수심 (m), b는 지표면에서 암거관 중심까지의 깊이 (m),  $r_e$ 는 암거관의 유효반경 (m), G는 암거계통의 기하학적 형상에 따른 계수, L은 암거 매설 간격 (m)이다.

$K_e$ 는 지표면에서 불투수층까지가 총상으로 구성되어 있으면 각 층의 두께를 고려한 무게평균한 수평투수계수가 되며 한층으로 구성된 경우는 그 층의 수평투수계수가 된다.  $r_e$ 는 암거관의 개구부의 비율을 고려한 것으로 같은 조건하에서 실제 관벽의 일부분만 개방된 반경 r인 암거로 유입되는 유량과 같게 되는 관벽이 전부 개방된 가상의 관의 반경을 나타낸다. Mohammad and Skaggs (1983)는 직경 10 cm 주름관에 대한 실험에서 관벽 면적에 대한 개구부 면적의 비율과 유효반경과의 관계를 제시하였다. 직경이 10cm인 상업용 플라스틱 암거관의 유효반경은 일반적으로 5 mm 내지 15 mm 범위의 것이 대부분이다.

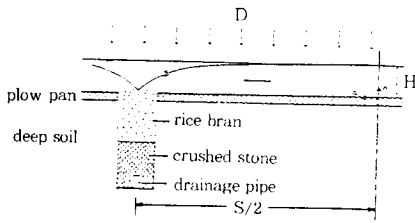
Fig. 1(b)는 일본의 전환전의 암거배수 계통도로서 경반층을 불투수층으로 보고 작토층만 배수에 유효하게 작용하는 것으로 보고 유량을 구한다 (촌도화남, 1993).

그러나 우리나라에서는 이 분야에 대한 연구가 아주 미약하여 1991년부터 농어촌진흥공사 주관하에 건국대학교 부설 농업자원개발 연구소에서 "농경지 이용을 제고를 위한 최적 설계기법 연구"를 하였으며, 농어촌진흥공사에서 "플라스틱관의 규격 및 설계시공 지침 정

립"에 대한 연구와 김 등 (1994)의 범용화 논의 암거배수조직 설계기법연구가 고작이며, 외국의 암거배수에 대한 현황 소개 (정상옥, 1993, 1994) 정도와 여러 연구보고서에서 암거배수의 필요성에 대하여 강조하고 있는 실정이다.



(a) Traditional subsurface drainage



(b) Subsurface drainage of multipurpose paddy field in Japan.

**Fig. 1. Schematics of subsurface pipe drainage**

### III. 재료 및 방법

본 연구에서는 농경지 지하배수의 관재료 및 피복재료별 배수효과를 조사하기 위하여 포장실험의 예비단계로 실험실에서 토양조를 이용한 실험 관측을 통하여 여러가지 관재료와 피복재료의 조합에 대한 지하배수효과를 조사 분석하였다.

#### 1. 암거관 재료

관재료로는 일반적으로 많이 사용되는 합성

수지계통인 PVC 관을 사용하였으며, 국내 생산된 PVC 유공관과 일본에서 구입한 PVC 유공관 및 망상관을 사용하였다. PVC 유공관의 내경은 45mm, 50mm 및 100mm 이었고, 망상관의 내경은 50mm이었다.

토관은 국내에서 시공성이 나빠 거의 사용되지 않기 때문에 본 연구에서는 사용하지 않았다. Table-1은 이들 관에 대한 생산업체, 재료, 직경, 및 개구부 면적과 개구율을 보여주고 있다. 일본의 암거관 생산업체와 생산제품 목록은 일본 전지농업진흥회 (1982)의 암거배수용 관재료람에 상세하게 소개되어 있다.

암거관의 개구율은 버니어 캘리퍼스로 구멍의 크기를 측정하고 단위 길이당 구멍의 수를 조사하여 구멍의 면적을 구하고 이를 관의 표면적으로 나누어서 계산하였다.

**Table-1. Producer, material, diameter, and opening ratio of pipes**

Item	PVC pipe (small dia)	PVC pipe (small dia)	PVC pipe (large dia)	Mesh pipe
Producer	DaeYang Co.	タキロン(株)	Small Co.	東京ポリマ(株)
Material	PVC	PVC	PVC	PVC
Inside diameter(mm)	45	50	50	50
Opening area(cm <sup>2</sup> /m)	65	110	390	390
Opening ratio(%)	4.6	6.8	24.8	24.8

#### 2. 피복재 재료

피복재 재료로는 일반적으로 취득이 용이하고 많이 사용될 수 있는 재료인 모래, 쇄석,

**Table-2. Hydraulic conductivity of the envelop materials**

Envelop material	Hydraulic conductivity(cm/s)
Sand	$1.6 \times 10^{-2}$
Rice bran	$1.7 \times 10^{-1}$
Crushed stone	$9.3 \times 10^{-1}$

및 왕겨를 사용하였다. 피복재료의 투수계수는 실험실에서 정수두 투수계수 측정장치를 이용하여 관측하였다. Table-2는 피복재의 투수계수 값을 보여주고 있다.

### 3. 토양조 실험

토양조의 구조는 Fig. 2와 같으며, 폭 3.0m, 높이 1.2m, 두께 1.0m의 대형으로 전면은 관측이 용이하도록 투명한 plexiglass를 사용하였고 나머지는 강재구조로 제작하였다. 토양조 내에 일반 논토양을 90cm 깊이가 되도록 잘 다져넣고 피복재는 폭 30cm로 깊이 70cm까지 다져넣고 상부 20cm는 표토로 충전하였다. 토양조의 상부에 인공 강우장치를 설치하여 물 공급을 하고, piezometer를 여러개 설치하여 지하수위의 변동상태를 관측하였다. 암거배수관은 관의 바닥이 토양조의 바닥으로부터 10cm의 높이에 위치하도록 매설하였다.

시험에 이용된 토양의 토성은 식양토로 나타났으며, 투수계수는 실험실에서 변수위 투수시험 장치를 이용하여 관측한 바  $8.26 \times 10^{-4}$  cm/s로 나타났다.

암거배수 시험은 모래, 왕겨, 및 쇠석의 각 피복재에 대하여 여러가지의 암거관을 사용하여 시행하였다. 각각의 경우에 대하여 장시간 토양표면에 물을 고르게 살포하여 정상상태에 도달하였을 때 암거관으로 배출되어 나오는 물을 채취하여 정상상태의 유량을 관측하였다.

그 다음 물공급을 중단하고 토양조건이 실제 지표배수가 끝난 후 논에서와 같은 경우인 비담수 포화상태에서 지하배수가 시작된다고 볼 수 있으므로, 토양수분이 비담수 포화상태가 되었을 때 시작하여 시간별로 암거관을 통하여 흘러나오는 물의 체적을 관측하여 시간별 암거배수량의 변화상태를 관측하였다.

비담수 포화상태에서 시간별 배수량 변화를

관측하기 위하여 각 배수파이프와 피복재의 조합에 대한 배수시험을 실시하였다. 각 시험은 배수유량이 거의 0에 가까와 질때까지 지속하였으며 계측시간 간격은 처음에는 1분, 2분, 3분에서 시작하여 관측이 끝날 무렵에는 60분, 80분, 및 120분까지 넓혔나갔으며, 매 실험당 총 관측시간은 5시간 내지 13시간까지 지속하였다.

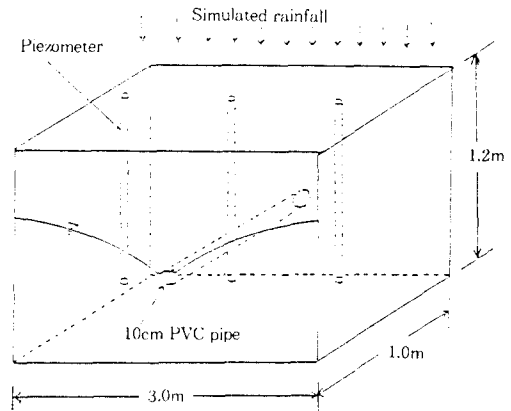


Fig. 2. Diagram of the soil box

## IV. 결과 및 고찰

### 1. 정상상태의 배수량 비교

정상상태의 암거배수량 시험결과는 Fig. 3과 같다. 그림에서 보는 바와 같이 배수유량은 모래, 왕겨, 쇠석의 순으로 증가하는 것을 알 수 있다. 이는 피복재의 투수계수가 커질수록 배수유량이 증가하는 것을 나타낸다. 또, 암거관 재료별로 보면 내경이 45mm 및 50mm의 소구경 PVC 유공관은 작은 배수유량을 나타내며, 개구부의 면적은 비슷하나 내경이 100mm인 대구경 PVC 유공관은 큰 배수유량을 나타내며, 개구부의 면적과 개구율이 가장 큰 망상관이 가장 큰 배수유량을 보여주고 있다. 이는 암거관의 개구부의 면적이 클수록 배수유량이 증가하고 또 관의 직경이

클수록 배수유량이 증가하는 것을 나타내고 있다. 따라서 암거관과 피복재의 선정은 배수유량이 클 때는 망상관과 쇠석을 선정하는 등 설계배수유량의 크기에 따라 적절한 관 및 피복재 재료를 선정하여야 할 것이다.

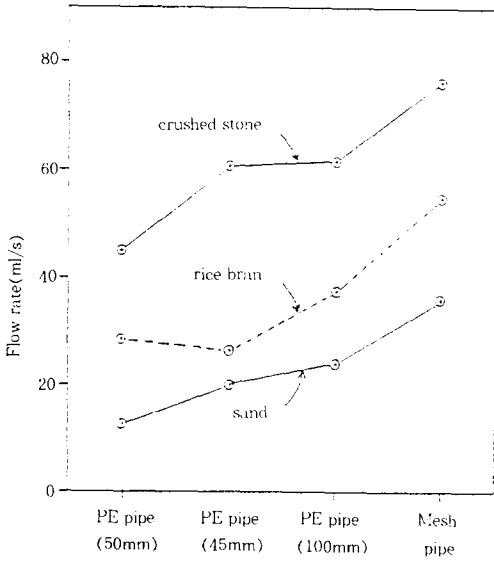


Fig. 3. Comparison of the steady state drainage flow

## 2. 비답수 포화상태에서 시간별 배수량 변화

시각과 유량의 계산은 인근 두 관측시각의 기간동안에 흘러나온 물의 체적을 시간으로 나누어 인근 두 시각의 중간 시각에서의 평균 유량으로 하였다. Fig. 4에서 Fig. 6까지는 비답수 포화상태에서 시간별 배수량 변화를 관측한 결과를 보여주고 있다.

Fig. 4는 모래를 피복재로 사용하였을 경우에 시간의 경과에 따른 단위면적당의 배수유량의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 소구경 PVC 유공관의 경우 배수유량이 대구경 PVC 유공관과 망상관의 경우 보다 더 큰 값을 나타내고 있다. 이는 투수계수가 작은 피복재인

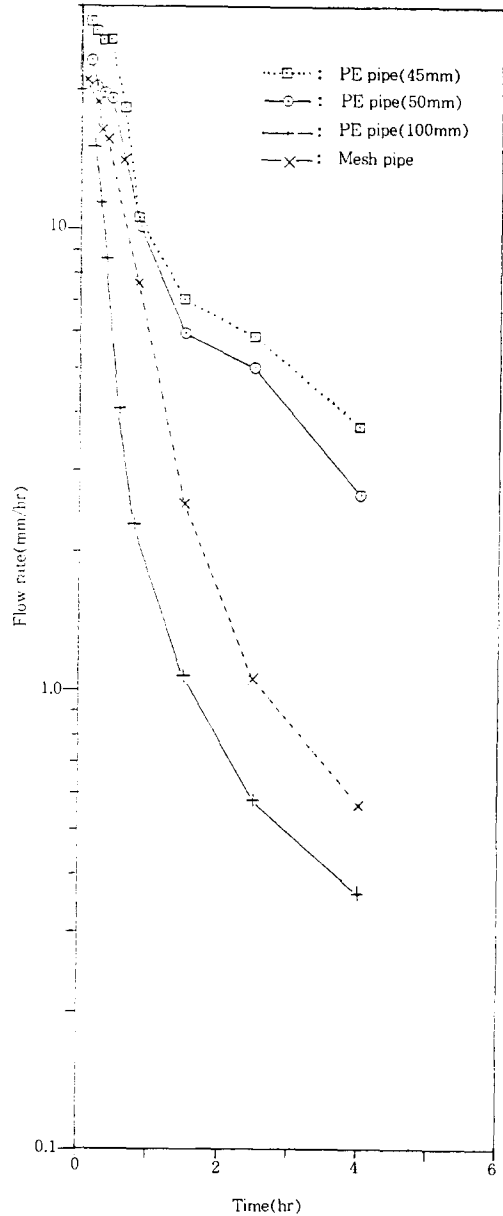


Fig. 4. Subsurface drainage flow rate with respect to time (sand)

모래의 경우 소구경 PVC 유공관의 실험을 한 후 20여일 후에 대구경 PVC 유공관과 망상관의 실험을 하였는 바, 그 기간동안에 피복재가 많이 다져져서 투수계수가 감소하였는

데 원인이 있는 것으로 생각된다.

Fig. 5는 왕겨를 피복재로 사용하였을 경우에 시간의 경과에 따른 단위면적당의 배수유량의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 45mm 소구경 PVC 유공관의 경우 배수유량이 50mm 소구경 PVC 유공관과 망상관의 경우보다 작은 값을 나타내고 있으며, 망상관의 배수유량이 50mm 소구경 유공관 보다 조금 큰 배수유량을 보여주고 있다. 왕겨의 경우에는 대구경 PVC 유공관에 대한 배수실험은 수행하지 않았다.

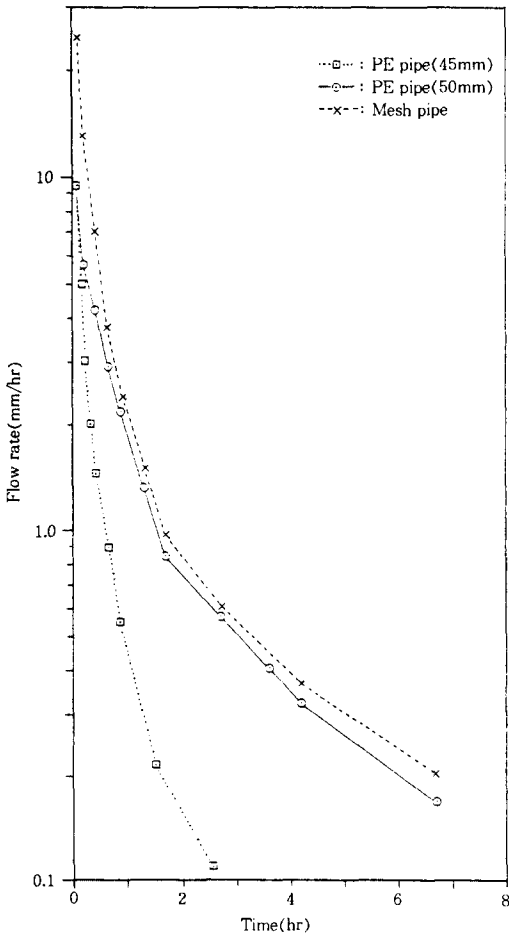


Fig. 5. Subsurface drainage flow rate with respect to time (rice bran)

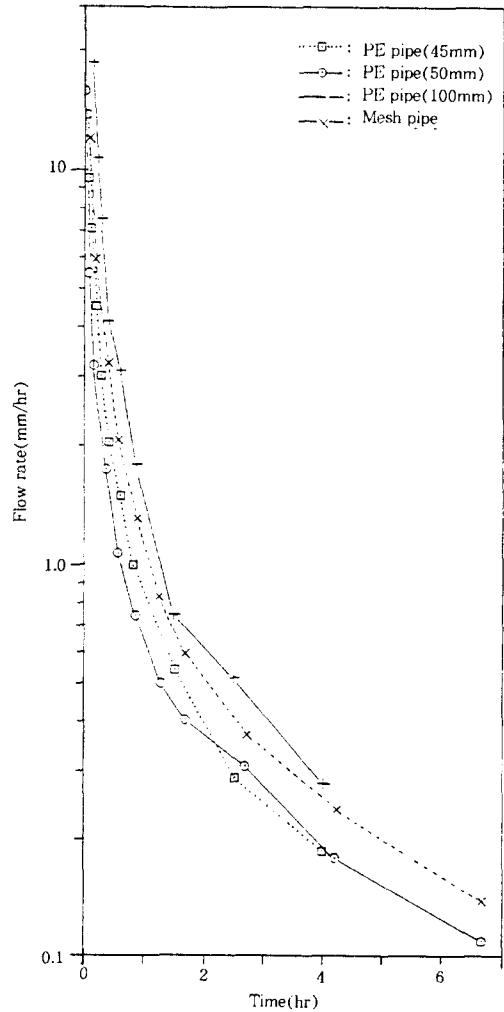


Fig. 6. Subsurface drainage flow rate with respect to time (crushed stone)

Fig. 6은 쇠석을 피복재로 사용하였을 경우에 시간의 경과에 따른 단위면적당의 배수유량의 변화를 보여주고 있다. 그림에서 네가지 종류의 관별로 배수유량의 변화가 다른 피복재에 비하여 가장 작은 것을 알 수 있다. 그러나 구경이 큰 유공관이 가장 큰 배수유량을 나타내고 있으며, 구경이 작은 망상관이 그 뒤를 따르고 있으며, 두가지의 소구경 PVC 유공관은 조금 작은 배수유량을 보여주고 있

다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 투수계수가 큰 피복재의 경우에는 관의 종류가 배수유량에 큰 영향을 미치지 않는 것을 알 수 있다.

Fig. 4 내지 Fig. 6 에서 보는 바와 같이 투수계수가 큰 피복재인 쇠석의 경우에는 암거관의 종류에 따라 배수유량의 변화 양상이 크게 다르지 않았으며, 투수계수가 작은 피복재인 모래와 왕겨의 경우에는 암거관의 종류에 따라 배수유량의 변화 양상이 크게 변화하였다. 그러나, 피복재의 종류에 관계없이 파이프의 종류와 배수유량값의 크기 사이에 일정한 관계를 이끌어 낼 수는 없었다. 이는 여러가지 요인에 의한 것으로 사료되는 바, 관측시의 관측오차와 토양조 관측기간인 4개월 동안에 토양조 내의 토양이 계속적으로 천천히 다져져서 처음 실험할 때에 비하여 나중 실험할 때에는 토양의 투수계수가 현저히 저하하여 유량이 감소하였을 것으로 판단된다.

## V. 요약 및 결론

본 연구에서는 농경지 지하배수의 관재료 및 피복재료별 배수효과를 조사하기 위하여 포장실험의 예비단계로 실험실에서 토양조를 이용한 실험 관측을 통하여 지하배수효과를 분석하였다.

관재료로는 일반적으로 많이 사용되는 합성수지계통인 PVC 관을 사용하였으며, 국내 생산된 PVC 유공관과 일본에서 구입된 PVC 유공관 및 망상관을 사용하였으며, 피복재(envelop)로는 왕겨, 모래, 및 쇠석을 이용하였다.

정상상태의 암거배수량은 피복재가 모래, 왕겨, 쇠석의 순으로 증가하는 것을 알 수 있는데, 이는 피복재의 투수계수가 커질수록 배수유량이 증가하는 것을 나타낸다. 암거관의 재료별로 보면 암거관의 개구부의 면적이 클

수록, 또 관의 직경이 클수록 배수유량이 증가하였다. 따라서 암거관과 피복재의 선정은 배수유량이 클 때는 망상관과 쇠석을 선정하는 등 설계배수유량의 크기에 따라 적절한 관 및 피복재 재료를 선정하여야 할 것이다.

비담수 포화상태에서 시간별 배수량 변화는 모래를 피복재로 사용하였을 경우에는 소구경 PVC 유공관의 경우 배수유량이 대구경 PVC 유공관 망상관의 경우 보다 더 큰 값을 나타내었다. 왕겨를 피복재로 사용하였을 경우에는 45mm 소구경 PVC 유공관의 경우 배수유량이 50mm 소구경 PVC 유공관과 망상관의 경우 보다 작은 값을 나타내고 있으며, 망상관의 배수유량이 50mm 소구경 유공관 보다 조금 큰 배수유량을 보여주고 있다.

피복재로 쇠석을 사용하였을 경우에는 네가지 종류의 관별로 배수유량의 변화가 다른 피복재에 비하여 가장 작았으며, 구경이 큰 PVC 유공관이 가장 큰 배수유량을 나타내었고, 구경이 작은 망상관이 그 뒤를 따르고 있으며, 소구경 PVC 유공관은 조금 작은 배수유량을 보여주었다.

투수계수가 큰 피복재인 쇠석의 경우에는 암거관의 종류에 따라 배수유량의 변화 양상이 크게 다르지 않았으며, 투수계수가 작은 피복재인 모래와 왕겨의 경우에는 암거관의 종류에 따라 배수유량의 변화 양상이 크게 변화하였다. 그러나, 피복재의 종류에 관계없이 파이프의 종류와 배수유량값의 크기 사이에 일정한 관계를 이끌어 낼 수는 없었다. 이는 여러가지 요인에 의한 것으로 사료되는 바, 관측시의 관측오차와 토양조 관측기간인 수개월 동안에 토양조 내의 토양이 계속적으로 천천히 다져져서 투수계수가 현저히 저하하여 유량이 감소하였을 것으로 판단된다.

본 연구에서는 제한된 실험실에서 토양조를 이용한 암거배수효과를 조사하였는 바, 앞으로 암거배수의 효과에 대한 연구는 실제 현장



시험을 포함하여 더 많은 연구가 수행되어야 할 것이다.

이 논문은 1994년도 한국학술진흥재단의  
공모과제 (지방대육성) 연구비에 의하여  
연구되었음

## 참 고 문 헌

1. 김선주, 여운식, 김형중. 1994. 범용화 논의 암거배수조직 설계기법. 한국관개배수 1 (1) : 44-53.
2. 김철기. 1992. 과학화된 농업생산기반의 정비 및 수질보전이 필요. 농지개량 통권 제 105호 pp.20-24.
3. 농수산부. 1983. 농지개량사업계획설계기준-계획. 배수편.
4. 농어촌진흥공사. 1991. 플라스틱관의 규격 및 설계시공지침정립. 농어촌진흥공사 농어촌연구원. pp.246.
5. 농어촌진흥공사. 1992. 농경지 이용을 제고를 위한 최적설계기법 연구. 건국대학교 부설 농업자원개발연구소. 146pp.
6. 정상옥. 1994. 일본의 농지기반정비 사업의 현황과 전망. 농지개량 통권 제120호 pp. 50-54.
7. 정상옥. 1993. 지하 암거배수 및 지하관개 기법. 한국농공학회지 35(2) : 13-17.
8. Belcher, H. W. and D'Itri, F. M. 1995. (Eds.) Subirrigation and controlled drainage. 482pp. Lewis Publishers.
9. Mohammad, F. S. and Skaggs, R. W. 1983. Drain tube opening effects on drain inflow. Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE 109(IR4):393-404.
10. Skaggs, R. W. 1978. A water management model for shallow water table soils. Technical Report No. 134, Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, N. C. State University, Raleigh, N. C.
11. Susanto, R. H. and Skaggs, R. W. 1995. Hydraulic head losses near agricultural drains : Preliminary results and research needs. (In) Subirrigation and Controlled Drainage (Eds. Belcher, H. W. and D'Itri, F. M) pp.413-328.
12. 村島和男. 1993. 汎用化水田の 暗渠排水設計に 關する 研究. 박사학위논문. 105pp.
13. 山口大學 農學部. 1992. 上管暗渠の 機能持續機構について. 山口大學農學部 農地整備造成學研究室 研究報告 第4號.
14. 山口大學 農學部. 1993. 上管および 被覆材の 吸排水 機能に 關する 水理 模型實驗について. 山口大學農學部 農地整備造成學研究室 研究報告 第5號.
15. 瓊地農業振興會. 1982. 暗渠排水用 管材要覽. (社)瓊地農業振興會.
16. 瓊地農業振興會. 1982. 暗渠排水의 設計と 施工. (社)瓊地農業振興會.
17. 瓊地農業振興會. 1989. 暗渠排水 Q & A. 施工事例. (社)瓊地農業振興會. 469pp.
18. 農林水産省 構造改善局. 1979. 土地改良事業計劃設計基準-計劃. 暗きょ排水.
19. 汎用耕地化のための技術指針編集委員會. 1979. 汎用耕地化のための技術指針. 農業土木學會.
20. 日本 農業土木學會誌. 1992. 小特集-汎用圃場. 60(8):723-734.

(접수일자 : 1995년 7월 1일)