

地下 暗渠排水 및 地下灌溉 技法

鄭 相 玉
(慶北大學校 農科大學 教授)

1. 緒 言

영농관리의 效率化와 생산성의 向上을 위하여는 저습 農耕地의 排水는 매우 중요하다고 하겠다. 특히 필요에 따라서 논밭 轉換을 할 수 있는 耕地汎用化를 위하여는 지하 암거배수가 필수적이라 하겠다. 우리나라의 경지면적 중 지표 배수개선이 필요한 면적은 127천 ha에 달하고 있으며, 이중 배수시설이 완료된 지역은 51천 ha로 필요면적의 40%에 해당되며, 지하 배수개선의 대상면적은 80천 ha에 달하며 지하 배수개선 사업 실적은 1천 ha로 대상면적의 1%에도 못 미치고 있다(김철기, 1992).

한편, 미국에서는 콩과 옥수수 생산의 대부분을 차지하고 있는 중서부지방에서도 지하수위가 높고 저습한 경지가 많아 지하배수 시설에 많은 투자를 하고 있다. 미국에서는 최소한 44(10⁶) ha는 인공적으로 배수를 하고 있으며, 적어도 12(10⁶) ha는 지하배수를 하고 있다.

경지 배수는 지표배수와 지하배수로 나눌 수 있으며, 지하배수는 開渠 또는 暗渠를 사용하며 수행할 수 있다. 이러한 지하배수계통의 설계는 관로의 매설깊이와 간격을 배수목적에 적합하게 결정하는 것이라 하겠다.

근래에 미국에서는 전통적인 지하배수에서 진일보한 토양수 관리 기법인 제어배수와 지하관개에 대한 연구가 많이 진행되고 있을 뿐만 아니라 실제 영농에도 적용되고 있다.

본 자료에서는 이러한 지하 암거배수와 지하관개의 설계 기법을 소개하여 앞으로 실무에

도움을 주고자 하는데 있다.

2. 暗渠排水

암거배수의 효과는 암거관의 매설 깊이와 간격, 토양의 물리적 특성 및 기타 암거 계통의 기하학적 형상에 지배 받는다. 암거관에 의한 지하배수 계통은 그림 1과 같으며 지하 암거 배수관에 의한 배수량의 계산은 지하수위의 위치에 따라서 Kirkham 또는 Hooghoudt 공식을 이용할 수 있다. 먼저 지하수위가 지표면 위에까지 올라와 있을 때에는 다음의 Kirkham 공식을 이용하여 암거관 배수량을 단위 지표면 적당 유량으로 나타낼 수 있다.

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

여기서, q : 단위 지표면적당 암거관 배수량 (m/s)

K_e : 등가 수평투수계수(m/s)

t : 지표면 위의 담수심(m)

b : 지표면에서 암거관 중심까지의 깊이(m)

r_e : 암거관의 유효반경(m)

G : 암거계통의 기하학적 형상에 따른 계수

L : 암거 매설 간격(m)

K_e는 지표면에서 불투수층까지가 층상으로 구성되어 있으면 각 층의 두께를 고려한 무게 평균한 수평투수계수가 되며 한층으로 구성된

경우는 그 층의 수평투수계수가 된다. r_e 는 암거관의 개구부의 비율을 고려한 것으로 같은 조건하에서 실제 관벽의 일부분만 개방된 반경 r 인 암거로 유입되는 유량과 같게 되는 관벽이 전부 개방된 가상의 관의 반경을 나타낸다. Mohammad and Skaggs(1983)는 직경 10cm 주름관에 대한 실험에서 관벽 면적에 대한 개구부 면적의 비율과 유효반경과의 관계를 그림 2와 같이 제시하였다. 직경 10cm의 상업용 암거관의 유효반경은 일반적으로 5mm 내지 15mm 범위의 것이 대부분이다.

G 는 암거관의 매설 간격, 관의 반경 및 토층 깊이의 함수로서 다음과 같이 주어진다.

$$G = 2 \ln \frac{\tan \frac{\pi(2b-r)}{4h}}{\tan \frac{\pi r}{4h}} + 2 \sum_{m=1}^{\infty} \ln \left[\frac{\cosh \frac{\pi mL}{2h} + \cos \frac{\pi r}{2h}}{\cosh \frac{\pi mL}{2h} - \cos \frac{\pi r}{2h}} \times \frac{\cosh \frac{\pi mL}{2h} - \cos \frac{\pi(2b-r)}{2h}}{\cosh \frac{\pi mL}{2h} + \cos \frac{\pi(2b-r)}{2h}} \right] \dots\dots(2)$$

여기서 b : 지표면에서 암거관 중심까지의 깊이 (m)

r : 암거관의 반경(m)

h : 지표면에서 불투수층까지의 깊이 (m)

L : 암거 매설 간격(m)

한편, 지하수위가 지표면 아래에 있는 경우의 암거관에 의한 배수유량은 물의 흐름을 정상상태로 가정하고 Hooghoudt의 정상흐름 공식을 사용할 수 있다.

즉,

$$q = \frac{4 K_e m (2d_e + m)}{L^2} \dots\dots\dots(3)$$

여기서 m : 암거관 간격의 중간위치에서 암거관의 중심에서 지하수면까지의 높이(m), d_e : 암거관 중심에서 불투수층까지의 등가 깊이(m)로 암거관 주위에서 유선의 수축현상을 고려하여 실제 깊이를 보정한 값이며, 나머지는 앞에서 정의한 바와 같다. d_e 는 암거관 중심에서 불투수층까지의 실제 깊이(d)와 암거간격 L 의 관계에 따라서 다음의 두 식으로 구할 수 있다 (Moody, 1966).

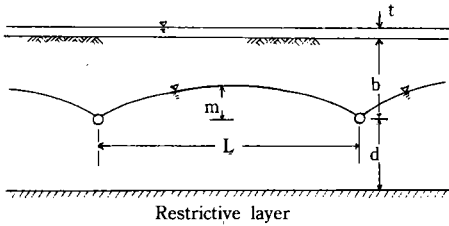


그림 1. 전통적인 地下 暗渠排水 계통도

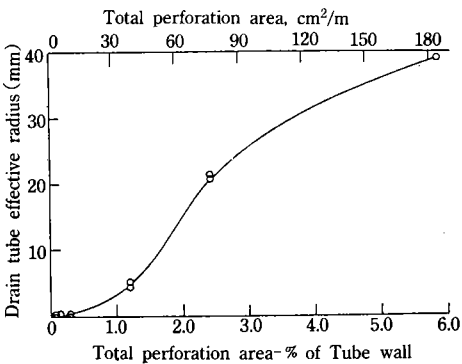


그림 2. 직경 10cm 주름관의 관벽 면적에 대한 개구부 면적의 비율과 유효반경과의 관계

$$d_e = \frac{d}{1 + \frac{d}{L} \left[\frac{8}{\pi} \ln \frac{d}{r_e} - \alpha \right]} ; \text{for } 0 \leq \frac{d}{L} \leq 0.3 \dots (4)$$

$$d_e = \frac{L}{\frac{8}{\pi} \left[\ln \frac{L}{r_e} - 1.15 \right]} ; \text{for } \frac{d}{L} \geq 0.3 \dots (5)$$

式(4)는 d/L 의 값이 작은 경우에 적용할 수 있으며 원래 복잡하였던 式을 간단하게 수정한 식이다. 여기서 α 는 d 와 L 의 함수이며 2차식으로 나타내면 다음 식과 같으며, 실제 적용에 있어서는 3.4를 사용하여도 좋다.

$$\alpha = 3.55 - 1.6 \frac{d}{L} + 2 \left(\frac{d}{L} \right)^2 \dots (6)$$

3. 制御排水

암거배수에 있어서 토양함수량과 지하수위를 작물생육에 최적인 상태로 유지하기 위하여 단순히 암거관로를 통한 배수를 하는 것이 아니라, 적당한 지하수위를 유지할 수 있도록 배수를 조절함으로써 포장의 지하수위를 작물성장에 가장 적절한 수준으로 유지할 수 있는 制御排水 (controlled drainage) 기법이 사용된다.

제어배수란 단순히 높은 지하수위를 저하시키는 전통적인 배수에 비해 물을 절약할 수 있으며 또 경지로 부터 농업용 화학물질이 지표수 또는 지하수로 이동하는 것을 감소시킬 수 있는 기법으로 전통적인 암거배수 보다 훨씬 진보된 기법이다. 제어배수는 지하배수계통의 배출구에 수위조절장치를 설치하여 수위를 일정한 수준으로 유지시키므로서 경지의 지하수위가 배출구 조절수위보다 높은 경우에만 지하배수가 되며, 반대로 경지의 지하수위가 배출구 조절수위보다 낮은 경우에는 지하배수가 되지 않으며 경우에 따라서는 증발산에 의한 토양수분의 감소와 지하수위의 저하로 인하여 배출구의 물이 암거관으로 흘러가게 되어 다음에 설명할 지하관개 상태가 되게 된다.

제어배수의 효과는 배출부 수위조절 위어의 높이와 작동시간, 암거관의 매설 깊이와 간격, 토양의 물리적 특성 및 기타 암거 계통의 기하학적 형상에 지배 받는다.

제어배수시의 암거관과 지하수면의 양상은 그림 3과 같으며 이 때 배수량은 式(3)을 약간 수정한 다음 식이 이용된다.

$$q = \frac{4 K_e m (2h_e + m)}{L^2} \dots (7)$$

여기서 m : 암거관 간격의 중간위치에서 암거관의 중심에서 지하수면까지의 높이(m)

h_e : 암거관 중심에서 불투수층까지의 등가 깊이(d_e)와 암거관 중심에서 지하수면까지의 높이의 합이다.

나머지 기호는 앞에서 설명한 바와 같다.

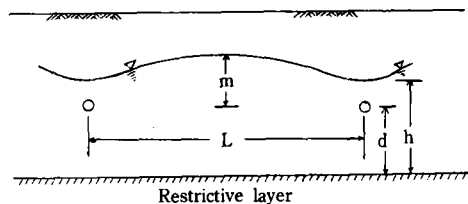


그림. 3. 制御排水시의 暗渠管 계통도

4. 地下灌溉

지하배수가 필요한 지역에서도 한발기나 지하수위가 낮은 경우에는 토양수분상태가 작물생육에 모자라게 되어 관개를 해 주어야 할 경우가 있다. 이 경우 지하관개 관로를 별도로 설치하던지 또는 암거관로를 그대로 지하관개에 사용할 수 있다. 즉, 배출구 수위조절 장치의 수위를 상향 조정하여 암거관로로 물을 공급하는 방법으로 지하관개를 할 수 있다.

지하관개는 물을 배수관로 말단의 배수로에

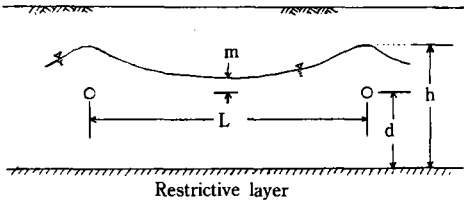


그림. 4. 地下灌溉時의 暗渠管 계통도

위어를 설치하여 일정한 수위가 유지되도록 계속적으로 물을 공급하거나, 또는 암거관로의 말단부에서 필요한 수위를 유지할 수 있는 압력을 유지하도록 직접 물을 공급하여 주는 방법이 있다.

지하관개시의 관로와 물의 흐름 계통도는 그림 4와 같으며, 이 때의 관개 유량은 Hooghoudt의 지하배수 유량공식을 변형한 다음 식으로 구할 수 있다.

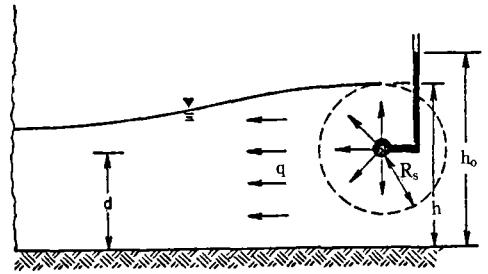
$$q = \frac{4 K_e m (2h_e + m h_e/h)}{L^2} \dots\dots\dots(8)$$

여기서 h : 불투수층에서 암거관 상부의 지하수면까지의 실제 높이(m)

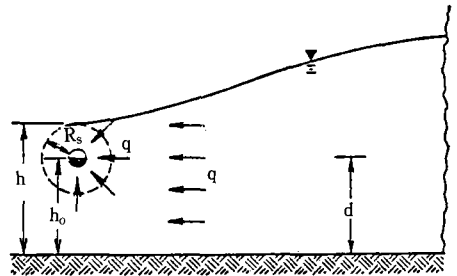
h_e : 암거관 중심에서 불투수층까지의 등가 깊이(d_e)와 암거관 중심에서 지하수면까지 높이의 합이다.

나머지 기호는 앞에서 설명한 바와 같다.

암거관을 통한 지하관개에 있어서 관 주위에서의 수두손실에 대하여는 잘 알려져 있지 않다. Skaggs(1991)는 암거관을 이용한 지하관개시 관 주위의 물의 흐름은 방사상으로 발생하며 관로의 부분적인 개구부를 통하여 흐르면서 큰 수두손실이 발생한다고 보고하였으며, 이 때 유선의 모양은 그림 5와 같으며 여기서 R_s는 흐름이 방사상인 구역의 반경을 나타낸다. 그림에서 지하관개시 암거관 인근 주위에서 발생하는 수두손실은 암거관에서의 piezometric head (h_o)와 암거관 상부의 지하수면 높이(h)와의 차이가 된다. 그러나 암거관 주위에서의 수두손실에 대하여는 앞으로 더 많은 연구가 필요



(a) Subirrigation



(b) Drainage

그림. 5. 地下排水와 地下灌溉時 暗渠管 주위에서의 방사상 흐름

하다고 하겠다.

5. 美國의 事例

본 자료에서 소개한 암거배수, 제어배수 및 지하관개에 관한 포장시험 결과 여러가지 토양수 관리기법이 콩의 생산량과 시설비에 미치는 영향에 대한 연구 결과는 그림 6에 보인 바와 같다(Fausey and Cooper, 1991). 그림 6은 미국 Ohio 주립대학에서 발표한 결과이며 재래식 지표배수만 하는 경우에 시설비와 생산량이 가장 작았으며, 가장 발달된 기법인 제어배수와 지하관개를 하는 경우에 시설비와 생산량이 가장 큰 것을 볼 수 있다.

미국에서는 암거배수관의 재료로 직경 10cm의 플라스틱 유공 주름관이 많이 사용되고 있으며, 관의 매설은 그림 7에서 보는 바와 같이 레이저빔을 이용한 불도저 자동 포설기를 이용하여 신속 정확하게 매설하고 있다. 그림의

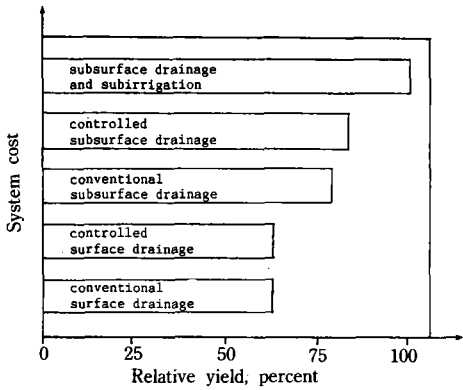


그림. 6. 여러가지 灌溉排水방법에 따른 콩의 생산량과 시설비의 관계

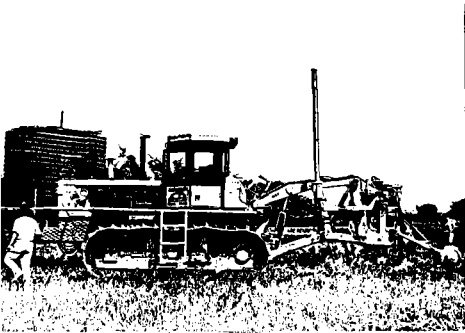


그림. 7. 레이저빔을 이용한 불도저 暗渠管 자동 포설기

좌측에는 플라스틱 유공관이 적재되어 있으며 우측의 연직막대는 레이저빔 수신장치이며 수신된 레이저빔으로 부터 지표면 표고와 암거 매설깊이를 운전석에 장치된 컴퓨터가 계산 및 제어하게 되어 있다. 맨 우측 하단에 보이는 것이 암거관 매설장치이다.

6. 結 言

지금까지 소개한 암거배수와 지하관개에 관한 이론적인 유량 공식인 式(1), (3), (7) 및 (8)은 여러가지 수치모형에서 많이 사용되고 있다. 그 대표적인 모형으로는 DRAINMOD(Skaggs, 1978)의 ADAPT(Chung, et al., 1992)를 들 수

있으며, 이 모형들은 지하수위 관리를 통한 최적영농기법 개발을 위한 시뮬레이션에 많이 사용되고 있다.

앞으로 우리나라에서도 영농관리의 효율화와 생산성 향상은 물론 농지이용도 제고를 위하여 암거배수 시설을 많이 확대해 나가야 함은 물론, 제어배수와 지하관개 등은 우수한 기술을 도입하여야 할 것이다.

參 考 文 獻

1. 김철기. 1992. 과학화된 농업생산기반의 정비 및 수질보전이 필요. 농지개량 통권 제105호, pp. 20-24.
2. Chung, Sang-Ok, Ward, A. D., And Schalk, C. W. 1992. Evaluation of the hydrologic component of the ADAPT water table management model. Trans. of ASAE 35(2) : 571-579.
3. Fausey, N. R. and Cooper, R. L. 1991. Subirrigation response of soybean grown with high yield potential management. Presented at the International Conference on Subirrigation and Controlled Drainage, Lansing, Michigan, August 12-14, 1991.
4. Mohammad, F. S. and Skaggs, R. W. 1983. Drain tube opening effects on drain inflow. Trans. of ASAE 34(1) : 169-175.
5. Moody, W. T. 1966. Nonlinear differential equation of drain spacing. Journal of Irrigation and Drainage Division, ASCE 92(IR2) : 1-9.
6. 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.