



배수효율이 높은 지하암거의 간격과 주름유공관의 통수능 비교분석

A Comparative Study on the Spacing and Discharge Performance of Subsurface Drainage Culvert to Increase Drainage Efficiency

김현태^a · 유전용^b · 정기열^c · 박영준^{d,†}

Hyuntai KIM · Jeonyong RYU · Kiyuol JUNG · Youngjun PARK

ABSTRACT

This study compared the theory of a culvert spacing and analytical results of the seepage flow for the subsurface drainage. i) If culvert spacing (S_c) is within 5 m, the unit drainage (q) is very larger; in contrast, if S_c is 5 m or more, there is very little drainage in the middle between drains. Therefore, the drain spacing should be within 5 m to ensure high drainage efficiency. ii) Since the planned culvert drainage increases linearly with the soil's permeability coefficient (k), k must be taken into account when determining the drain diameter by the planned culvert drainage. iii) As a result of analyzing the drainage performance of the absorbing culvert, the drainage performance is sufficient with the diameter of the corrugated drain pipe $D_c = 50$ mm at the length of the drain $L_c = 100$ m. iv) Therefore, if the drain spacing (S_c) is less than 5 m using the low-cost non-excavated drainage pipe method ($\Phi 50$ mm the corrugated drain pipe and fiber mat) rather than the conventional trench drain method ($S_c > 10$ m, $D_c > 100$ mm), uniform and high drainage efficiency can be ensured as well as low construction cost. v) The sub-irrigation+drainage culvert requires narrower drain spacing ($S_c < 2-3$ m) for irrigation. As a result of examining the condition of 35 mm in diameter (D_c) and 2~3 m in drain spacing, it is possible to apply the non-excavated drainage pipe method to the sub-irrigation+drainage culvert because drainage performance is sufficient at the drain length $L_c = 50$ m.

Keywords: Culvert spacing; culvert drainage performance; culvert diameter; non-excavation culvert; culvert seepage analysis

1. 서 론

쌀 수급조절과 농가소득 향상을 위하여 논에서 밭작물 재배의 면적이 증가하고 있으며, 논에 밭작물 안전재배를 위하여 우리나라 616천ha의 농경지가 지하배수개선사업이 필요하다고 하였다 (Lee et al., 2016).

또한 지하배수개선을 하면 콩 생산량이 재래식 지표배수보다 20%이상 단위생산량이 증가한 결과를 제시하고 있다 (Fausey and Cooper, 1991).

지하배수개선사업에 지하배수암거를 적용하는데 난투수성 토양에서 계산된 흡수암거간격이 대부분 10 m 이내로 좁은 경우, 공사비의 과다로 경제적 타당성을 기대하기 어렵기

때문에 특별한 경우를 제외하고 암거간격을 10 m로 하고 보조암거를 병용하는 것을 제안하고 있다 (Ministry, 2001).

여기서 보조암거공법으로 두더지암거 또는 심토파쇄공법이 적용되는데, 이 공법은 시간이 경과하면서 통수기능이 상실되는 문제가 있다 (Jung et al., 2006). 특히, 점성토 (CL)에서는 두더지암거나 심토파쇄의 효과가 단기간 유지되지만, 비점성 실트질흙 (ML)은 심토파쇄효과가 더 빨리 상실되었다고 한다 (Kim et al., 2015).

또한 암거간격이 너무 넓으면 암거주위는 침투배수가 잘되지만 암거사이 가운데는 거의 않되는 횡단면상에 불균일한 지하배수 문제가 있다고 한다 (Hwaan, 2016).

이와 같이 보조암거는 내구성에 문제가 있고, 암거간격이 넓으면 암거사이 가운데는 지하배수가 잘 않되는 문제가 있는데도 경제적인 문제로 암거간격을 10 m이상으로 제한하는 것보다, 공사비가 저렴한 비굴착식 암거공법을 도입하여 같은 공사비내에서 암거간격을 좁게 하는 것이 적극적인 대책일 것이다.

즉, 가격이 저렴한 주름유공관과 수평매트를 소수재료로 사용하는 비굴착식 암거공법은 공사비가 기존공법의 1/3정도로 저렴한 만큼 암거간격 (5 m 이내)을 좁게 적용하여도 경제성 (75%)이 있으면서, 배수효율 (170%)이 높다고 제안하였다 (Kim et al., 2018).

^a Representative Director, Mirae Rural Technology Institute

^b Director General, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

^c Researcher, National Institute of Crop Science, Rural Development Administration

^d Researcher, Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation

† **Corresponding author**

Tel.: +82-31-400-1888, Fax: +82-31-502-2051

E-mail: ramses11@me.com

Received: October 7, 2019

Revised: October 24, 2019

Accepted: October 29, 2019

여기서, 비굴착식 암거공법에 적용되는 직경 50 mm 주름 유공관은 통수능력이 부족하다는 문제가 제기되고 있어, 현장조건을 고려한 소요통수량과 암거관의 통수능력을 비교하는 통수능 평가가 필요하다. 또한 암거간격에 따른 지하배수량은 물론, 암거사이 배수량분포가 허용범위 (10 mm/day)에 있는 즉, 배수효율이 더 높은 암거간격의 재평가가 필요하다.

본 연구에서는 암거간격별 지하암거의 침투류해석을 실시하여 지하배수효율이 높은 암거간격을 제시하였으며, 비굴착식 암거공법에 사용되는 주름유공관의 통수능력을 비교분석하여 그 적용성을 확인하였다. 또한, 지하관개+배수 겸용 지하암거에 비굴착식 암거공법의 적용 가능성을 확인하였다.

II. 재료 및 방법

1. 암거의 효율적 간격 평가

지하암거의 간격 (Sc)은 설계기준 (배수편)에서 제시하는 이론공식으로 결정한다. 하지만 흙에서 암거로 침투배수되는 단위배수량 (q)과 암거사이 배수량분포는 침투류해석을 통하여 예측해볼 수 있다.

암거간격별 투수계수별 지하암거의 침투류해석을 실시하여 암거로 침투되는 배수량과 암거사이 배수량분포를 파악하여 배수효율이 높고 그 분포가 허용범위 (q_{min})에 있는 암거간격을 검토하였다.

2. 암거의 계획배수량 (Q_r)

계획배수량 (Q_r)은 단위계획배수량 (q_r)×집수면적 (A)로 구하며, 집수면적은 암거길이 (Lc)*암거간격 (Sc)으로 Q_r = q_r×A = q_r×Lc×Sc의 관계식으로 구한다.

가. 암거길이 (Lc)

암거길이는 경구 내 암거조직계획에 따라 결정되며, 100*100 m농경지에서 단관방식은 최대 100 m가 된다. 또한, 복관방식으로 선택할 경우 흡수암거 길이를 25~50 m로 줄일 수 있다.

나. 암거간격 (Sc)

암거간격은 설계기준에 흙의 투수계수 (k), 암거길이 (d), 불투수층의 깊이 (D), 지하수위 (H) 등의 관계식 중에서 Van Schilfgaarde과 Hooghoudt 제안식을 사용하여 결정하였다 (Jung et al., 2006, Ministry, 2015).

다. 계획암거단위배수량 (q_r)

1) 설계기준 제안값

설계기준에 제안된 단위계획배수량은 경지구획의 평탄정도, 넓고 좁음, 토양의 투수성, 토지이용형태 등에 따라 10~30 mm/day로 정한다 (Ministry, 2001).

여기서, q_r = 10~30 mm/day의 범위 중에 적정 값에 대한 구체적인 기준이 없어 실무자들의 애로사항이 있다. 본 연구에서 구체적인 값을 제시하고자 지하암거조건인 침투류해석을 실시하여 각 조건별 소요통수량을 비교분석하였다.

2) 지하배수 침투류해석 방법

흙의 투수계수가 수직, 수평방향 균일한 조건으로 가정하였으며, 수두 조건은 장마철 강우가 지속되면서 지하침투에 의해 지하수위가 지표까지 상승되어 잔류 지표수가 1 cm 정도 남아있는 Fig. 1와 같은 조건으로 침투류해석을 실시하여 암거간격, 투수계수별 암거를 통한 지하배수량을 비교분석하였다.

침투류해석은 GEO-SLOPE사의 SEEP/W프로그램을 사용하였다.

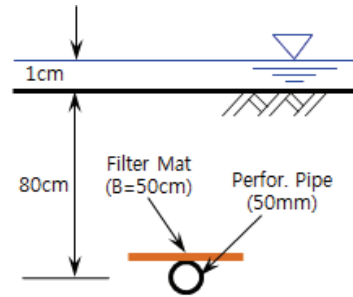


Fig. 1 Condition of Subsurface Culvert Seepage Analysis

3. 배제가능통수량 (Q_a) 결정

암거의 배제가능통수량은 manning공식으로 산출하였다 (Ministry, 2001).

$$Q = \frac{1}{n} \times r^{8/3} \times I^{1/2} \times \alpha$$

여기서, Q : 유량 (m³/s)

r : 관의 반경 (m)

n : 조도계수

I : 기울기

α : 유랑계수

여기서 흡수암거의 기울기는 평탄지에서 인력매설시는 1/300~1/600, 기계매설시는 1/500~1/1,000로 하면 적당하다.

그런데 침하로 균일한 기울기의 유지가 곤란하므로 가급적 기울기가 급한 쪽이 바람직하다고 되어 있다 (Ministry, 2001).

그러나 실제 지하암거가 필요한 저평지 농경지에서는 배수로와 농경지 표고차가 적어 흡수암거에 활용할 수 있는 수두차는 20~30 cm로 본 검토에서는 $I=1/500 \sim 1/1,000$ 로 계산하였다.

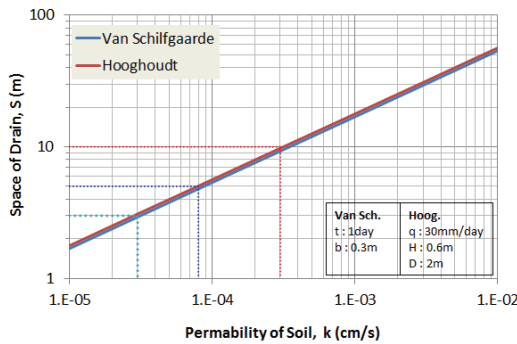
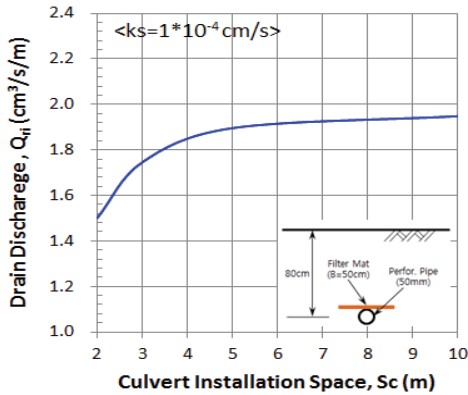
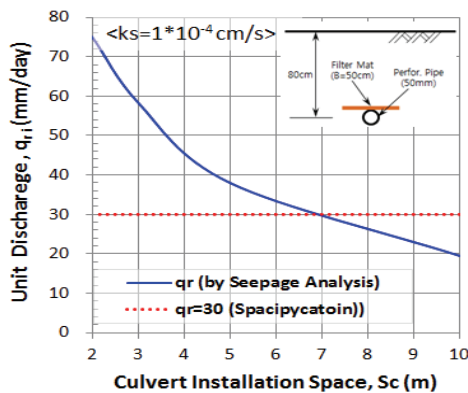


Fig. 2 Relation of the space of culvert with Permiability of soil



(a) Drain discharge



(b) Unit drain discharge

Fig. 3 Variation of drain discharge by space of culvert

III. 결과 및 고찰

1. 흡수암거의 효율적 간격

가. 제안식에 의한 소요 암거간격 (S_c)

흡의 투수계수 (k)별 소요 암거간격 (S_c)을 Van Schilfgaard, Hooghoudt 제안식으로 계산해보면 Fig. 2와 같이 투수계수의 제공근에 비례하는 관계를 보인다. $k=3 \cdot 10^{-4}$ cm/s는 $S_c=10$ m, $k=1 \cdot 10^{-4}$ cm/s는 $S_c=5$ m, $k=3 \cdot 10^{-5}$ cm/s는 $S_c=3$ m가 필요한 것으로 계산되었다.

나. 암거간격별 지하암거 배수성능

암거간격별 암거단위m당 흙에서 암거로 침투되는 배수량 (Q_n)은 Fig. 3a와 같이 암거간격이 클수록 배수량이 증가하지만 그 증가율은 점점 감소한다. 그 결과로 단위배수량 (q)은 Fig. 3b와 같이 암거간격이 적을수록 크게 증가하여, 암거간격이 좁을수록 암거배수의 효율이 크게 상승하는 것을 알 수 있다.

다. 암거간격별 지하암거 단위배수량분포

암거와 암거사이 지하침투수량 분포를 보면, 일반적인 암거설치심도 0.8 m 조건에서 암거간격이 5 m이내이면 Fig. 4a와 같이 암거사이 토양에서 어느 정도 균일한 배수가 되지만, 간격이 10 m이면 Fig. 4b와 같이 암거사이 중간에서는 배수가 거의 되지 않는 불균일한 배수분포를 보인다.

여기서 암거로부터 거리별 단위배수량분포를 보면 Fig. 4c와 같이 암거간격 5 m는 암거사이 중앙에서도 10 mm/day 이상 배수되지만, 암거간격 10 m, 15 m는 중앙에서 거의 배수가 발생되지 않는 것으로 분석되었다.

그러므로 설계기준에 경제성문제로 암거간격을 10 m이상으로 제안하고 있는 것은 개선되어야 한다.

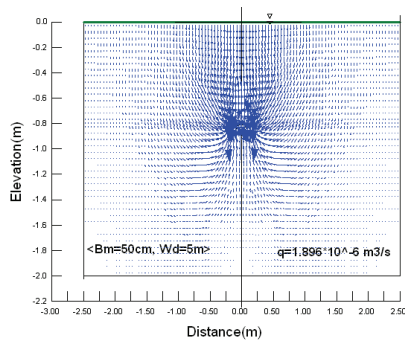
2. 단위계획배수량 (q_r)

가. 침투류해석

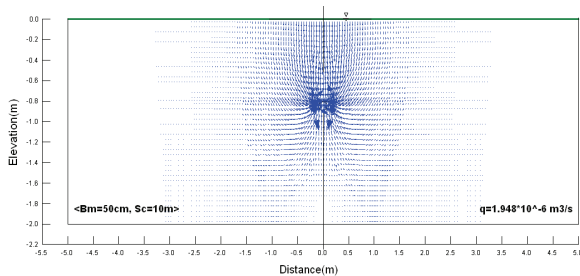
암거형태별, 암거간격별 암거단위m당 흙에서 암거로 침투되는 배수량 (Q_n)은 Table 1과 같이 해석되었다.

나. 암거간격과 투수계수 (k)를 고려한 흡수암거의 계획배수량 (Q_r)

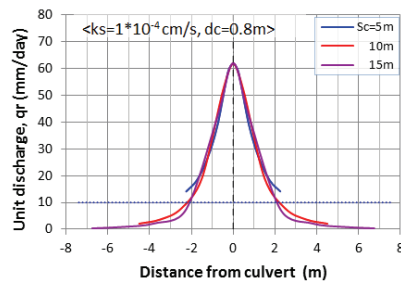
지하암거의 침투류해석결과 투수계수 (k)와 계획전체암거 배수량 (Q_r) 관계를 보면 Fig. 5a와 같이 Q_r 은 k 에 직선비례한다. 여기서, $Q_r=q_r \cdot S_c \cdot L_c$ 관계에서 q_r 은 Fig. 3b와 같이 S_c 가 클수록 작기 때문에 $q_r \cdot S_c$ 값은 상쇄되어 Fig. 5b와 같이 암거간격 (S_c)의 영향은 거의 없는 것으로 보이고, Q_r 은 k 에 직선비례하는 관계를 보인다.



(a) Distribution of seepage vector (5 m Space of culvert)

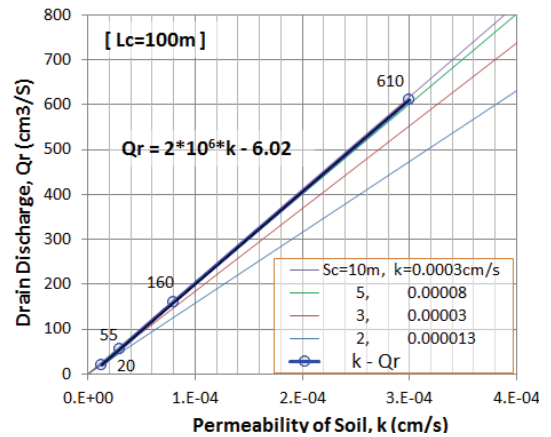


(b) Distribution of seepage vector (10 m Space of culvert)

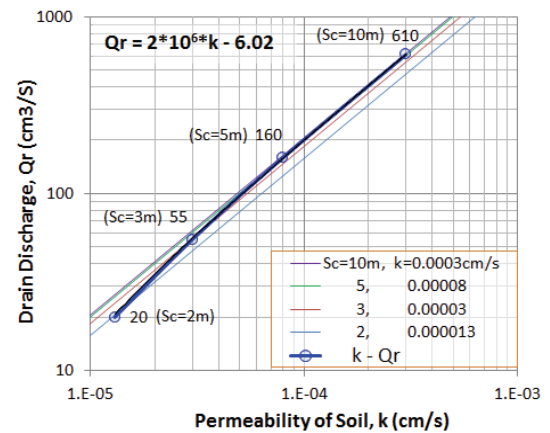


(c) Unit discharge distribution

Fig. 4 Distribution of seepage vector and unit discharge



(a) Normal scale

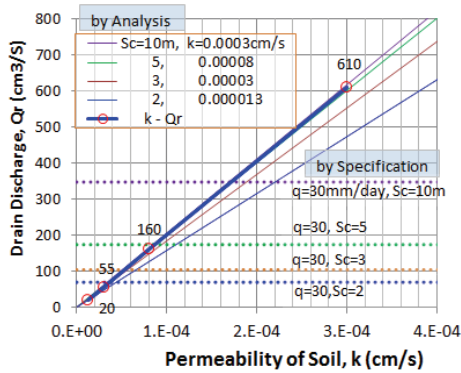


(b) Log scale

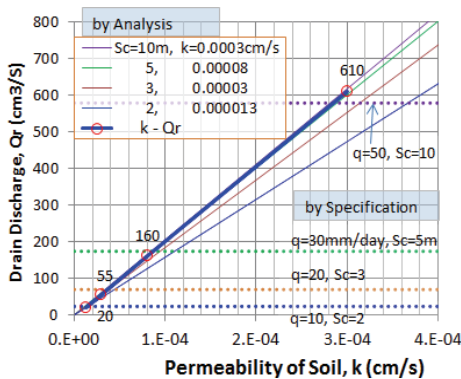
Fig. 5 Decision of drain discharge by Permeability of soil and culvert spacing

Table 1 Comparison of unit subsurface drainage discharge by culvert spacing

Type of culvert	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
	N,E, Culvert (Φ 5 cm Per. pipe)	N,E,Culvert (5 cm P.pipe +B50 cm H.mat)	N,E,Culvert P.P+H.mat+ Ver.gravel	N,E,Culvert H.mat+Ver.Gr (B5,h40 cm)	Exc.Culvert P. pipe + Gravel (B30,H40)
Shape of subsurface drain					
Sc=10 m	$Q_{r1}=1,187$	1,948	2,058	1,615	2,136 cm ³ /s/m
Sc=5 m	1,172	1,896	2,005	1,592	2,136
Sc=3 m	1,111	1,746	1,843	1,493	1,914
Sc=2 m	1,010	1,501	1,578	1,331	1,638



(a) $q_r=30$ mm/day Constant



(b) $q_r=10, 20, 30, 50$ mm/day

Fig. 6 Comparison of drain discharge by Analysis M and specification

그러므로 토양의 투수계수에 따라 Fig. 2와 같이 적정 암거 간격을 먼저 결정하고, k에 맞는 q_r 을 결정하여 $Q_r(q_r \cdot Sc \cdot Lc)$ 을 계산하면 된다.

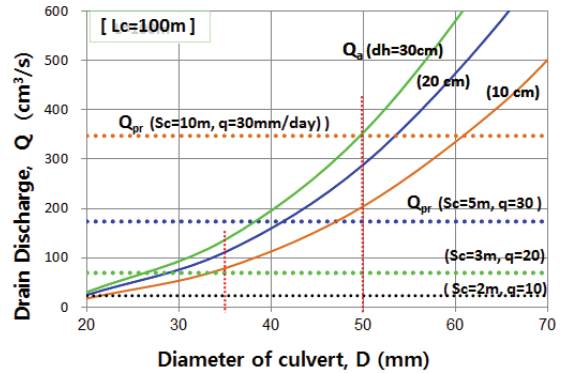
여기서, 흙의 투수계수에 관계없이 $q_r=30$ mm/day 일정으로 보고 $Q_r(q_r \cdot Sc \cdot Lc)$ 을 계산하여 침투류 해석결과와 비교하면 Fig. 6a와 같이 $Sc=5$ 이상에서는 설계기준 제안 값은 부족하고, $Sc=5$ 이하에서는 너무 큰 것으로 비교 분석되었다.

그러나, 흙의 종류에 따라 $q_r=10 \sim 50$ mm/day를 적용하도록 제시되어 있는 설계기준 (배수편)에 따라 $k > 3 \cdot 10^{-4}$ cm/s에서 $Sc > 10$ m, $q_r > 50$ mm/day, $k = 8 \cdot 10^{-5}$ 에서 $Sc=5$, $q_r=30$, $k = 3 \cdot 10^{-5}$ 에서 $Sc=3$, $q_r=20$, $k < 1.3 \cdot 10^{-5}$ 에서 $Sc < 2$, $q_r < 10$ 을 적용하여 비교하면 Fig. 6b와 같이 Q_r 값이 잘 일치하는 결과를 보인다.

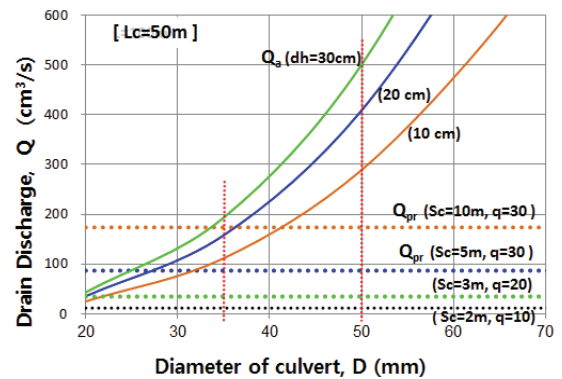
즉, 흙의 투수계수 (k)에 따라 제안식으로 적정 암거간격 (Sc)을 구하고, k에 맞는 적정 q_r 값을 적용하여 Q_r 값을 구하면 실용적이라는 결과를 얻었다.

다. 흡수암거의 소요관경결정

흡수암거 관경별 계획암거전체배수량 (소요통수량, Q_{pr})을 $Q_r=q_r \cdot Sc \cdot Lc$ 로 구하고, 허용암거배수량 (통수능력, Q_a)은



(a) $Lc=100$ m



(b) $Lc=50$ m

Fig. 7 Comparison of required drain discharge(Q_{pr}) and capability of drain discharge(Q_a)

mannings공식으로 구하여, Q_{pr} 과 Q_a 을 비교분석한 결과 Fig. 7a와 같이 암거연장 $Lc=100$ m에서도 $q_r < 30$ mm/day이면 설계기준(배수편)에 언급된 것과 같이 $Dc=50$ mm이면 충분하다고 분석되었다.

또한 계획암거단위배수량 q_r 이 크고 수두차가 너무 적어 통수능력이 부족한 경우는 Fig. 7b와 같이 암거조직을 조정하여 암거길이를 짧게 하면 해결할 수 있다.

또한 지하관개+배수암거 겸용으로 암거간격을 $Sc=2 \sim 3$ m로 하고 대신 관경을 $Dc=35$ mm로 하는 조건에 대하여 검토한 결과 $Dc=35$ mm는 Fig. 7a와 같이 암거길이 $Lc=100$ m에서는 부족하지만, Fig. 7b와 같이 $Lc=50$ m에서 충분하다는 결과를 얻었다.

화성시 화옹간척지에 $\Phi 50$ mm 주름유공관+수평매트 암거 형태의 비굴착식 암거공법 시공사례에서 암거간격 5 m, 길이 100 m, 10열의 배수량 및 염도를 측정된 결과 Fig. 8과 같이 물의 염도 10,000 ppm 정도, $q_r=30 \sim 40$ mm/day 이상의 물이 지하배수 되었다.



Fig. 8 Measurement of Q and salinity of water

IV. 결 론

1. 지하암거 침투류해석결과 암거간격 (S_c)이 5 m 이내로 적을수록 단위배수량 (q)이 더 크다. 또한 S_c 가 5 m 이상이면 암거사이 중간에서는 배수량이 거의 없으므로, 암거간격을 5 m 이내로 하여야 배수효율이 훨씬 높고, 암거사이 배수량분포가 허용범위에 있다는 결과를 얻었다.

2. 계획암거전체배수량 ($Q_r=2 \times 10^6 \cdot k \cdot 6.02$)은 흙의 투수계수 (k)에 직선 비례하므로, 관경설계 시 $Q_r(=q_r \cdot S_c \cdot L_c)$ 에서 q_r 은 k 에 따라 다르게 적용하여야 한다.

$k > 3 \times 10^{-4}$ cm/s 일 때 $q_r > 50$ mm/day, $k = 8 \times 10^{-5}$ 는 $q_r = 30$, $k = 3 \times 10^{-5}$ 는 $q_r = 20$, $k < 1.3 \times 10^{-5}$ 는 $q_r < 10$ 을 적용하는 것이 실용적이라는 결과를 얻었다.

3. 흡수암거의 통수능력을 비교분석한 결과 암거연장 $L_c = 100$ m에서도 주름유공관 직경 $D_c = 50$ mm이면 통수능력이 충분하다는 결과를 얻었다.

4. 그러므로 $S_c > 10$ m, $D_c > 100$ mm의 굴착식 기존 암거공법보다, $\Phi 50$ mm 주름유공관+수평매트 암거형태를 사용하는 저비용 비굴착식 암거공법 등으로 암거간격 (S_c)을 5 m 이내로 하면 공사비도 적으면서, 암거사이 배수량분포가 허용범위($q_{min} > 10$ mm/day)에 있고, 지하배수효율이 훨씬 높다는 결론이다.

5. 지하관개+배수 겸용암거는 지하관개를 위해 더 좁은 간격 ($S_c < 2 \sim 3$ m)이 필요하므로, 관경을 $D_c = 35$ mm로 하고, $S_c = 2 \sim 3$ m의 조건에 대하여 검토한 결과 암거길이 $L_c = 100$ m에서는 통수능력이 부족하지만 $L_c = 50$ m에서 충분하므로 지하관개+배수 겸용암거에도 비굴착식 암거공법의 적용이 가능하다는 결론을 얻었다.

감사의 글

본 연구는 농촌진흥청 연구사업 (과제번호: PJ01281503)의 지원을 받아 연구되었음.

REFERENCES

1. Fausey, N. R. and R. L. Cooper, 1991. Sub-irrigation response of soybean grown with high yield potential management, Presented at the international conference on sub-irrigation and controlled drainage. Lansing, Michigan, August 12-14.
2. Hwaan project office, Korea Rural Community Corporation, 2016. Test construction and analysis study on effect of desalinization subsurface drainage in 8th phase of Hwawong civil construction works (in Korean).
3. Jung, H.W., S. J. Kim, J. S. Kim, J. K. Noh, K. U. Park, J. K. Son, K. S. Yoon, K. H. Lee, N. H. Lee, S. O. Chung, J. D. Choi, and J. Y. Choi, 2006. *Irrigation and Drainage Engineering*. Dongmyeong Publisher (in Korean).
4. Kim, H. T., D. U. Seo, C. H. Yoo, and S. Y. Kim, 2015. Theoretical analysis of soil desalination characteristics for underdrain system at reclaimed tidal land. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57(3): 87-92. doi:10.5389/ksae.2015.57.3.087 (in Korean).
5. Kim, H. T., J. Y. Ryu, K. Y. Jung, and D. G. Seo, 2018. Comparative study on the subsurface drainage discharge performance by the type of non-excavation subsurface drainage culvert. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 60(6): 73-81. doi:10.5389/KSAE.2018.60.6.073 (in Korean).
6. Lee, J. G., S. P. Kim, and S. J. Bae, 2016. Present and future of farmland generalization technology. *Magazine of the Korean Society of Agricultural Engineers* 58(3): 37-43 (in Korean).
7. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2001. Planning and design criteria for agricultural production infrastructure development and improvement project (drainage): 283-290 (in Korean).
8. Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs, 2015. Investigation and Design Guidelines of Subsurface drainage for Multipurpose Utilization of Paddy-Field: 7~10 (in Korean).