

ENGINEERING

Performance evaluation of a subsurface drainage culvert system in converted paddy fields

Jong Won Do^{1,†,*}, Jongseok Park^{2,†}, Hyuntai Kim^{3,†}, Kwangya Lee¹, Hyungjin Shin⁴

¹Integrated Water Management Supporting Department, Water Resources Planning Office, Korea Rural Community Corporation, Sejong 30130, Korea

²Department of Crop Science, Chungnam National University, Daejeon 34134, Korea

³Mirae Rural Technology Institute, Anyang 14120, Korea

⁴Rural Research Institute, Korea Rural Community Corporation, Ansan 15634, Korea

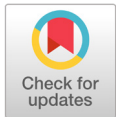
[†]These authors equally contributed to this work.

*Corresponding author: jonduru@ekr.or.kr

Abstract

With the change of the agricultural environment (increased rice production, decreased rice consumption, and rice production policies), converting paddy fields into upland fields is an increasing trend. In terms of conversion into upland fields, subsurface drainage is one of the most important factors for good field crop growth. This study evaluates the performance of a subsurface drainage culvert system in paddy fields and reclaimed lands. The obtained results are briefly summarized as follows: 1) After a comparative evaluation of several subsurface drainage culvert systems, including excavated subsurface drainage and non-excavated subsurface drainage types, type 3 (non-excavated, perforated drain pipe 50 mm, filter mat B50 cm, subsoiling 70 cm and culvert spacing 5 m) shows relatively high values among four types in terms of effectiveness (subsurface discharge capability) and economic efficiency (construction cost). 2) Type 3 has proven that it is suitable for design standards of discharge capacity through field tests performed in paddy fields (three sites: Gong-geom, Gae-san, Juk-san) and reclaimed lands (two sites: Gum-ho, Mi-am). 3) In the experiment of *Sesamum indicum* growth according to the existence of a drainage system, *Sesamum indicum* growth with a subsurface drainage culvert system had good value in terms of plant shoot and root length, shoot fresh and dry weight, and root fresh and dry weight).

Keywords: converted paddy field, culvert drainage performance, drainage field test, subsurface drainage culvert, *Sesamum indicum* growth



OPEN ACCESS

Citation: Do JW, Park J, Kim H, Lee K, Shin H. 2020. Performance evaluation of a subsurface drainage culvert system in converted paddy fields. Korean Journal of Agricultural Science 47:263-273. <https://doi.org/10.7744/kjoas.20200017>

Received: February 06, 2020

Revised: April 03, 2020

Accepted: April 09, 2020

Copyright: © 2020 Korean Journal of Agricultural Science



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Introduction

우리나라는 최근 세계무역기구(WTO) 농업부문 개발도상국 지위를 포기하기로 결정함에(2019.10.25) 따라 농산물 관세, 농업보조금 및 쌀 수입 등에 대한 보호가 상실되어 특히 쌀 농가에 대한 큰 피해 가능성이 커지고 있다. 반면에 지난 30년간(1989 - 2018년) 1인당 연

간 쌀 소비량은 연평균 2.3%씩 감소하였다(Statistics Korea, 2019a). 2018년 기준 국민 1인당 연간 쌀 소비량은 61 kg을 나타내며, 1970년 136.4 kg에 비해 절반 수준으로 줄어드는 등 쌀 수급 변화가 나타나고 있다(Statistics Korea, 2019b). 또한 WTO 회원국으로써 의무적으로 일정량의 쌀을 수입하고 있어 2017년에 41만톤 가량을 수입하고 있다(MAFRA, 2018; Choi et al., 2019). 이에 정부 정책에서도 쌀 수급균형 및 적정재고 달성을 위해 논에 타작물 재배 확대 및 쌀생산 조정제 등을 실시하고 밭 작물의 생산 확대와 자급률 제고를 위한 대책으로 전환하고 있다. 최근 농업환경 변화에 맞추어 논에서 밭으로 전환하는 범용농지 면적이 늘어남에 따라, 이러한 범용농지에서 밭작물을 재배할 수 있는 저비용 고효율의 영농기반시설 기술의 중요성이 부각되고 있다. 특히 범용농지에서 밭 작물 재배에서 가장 중요한 부분이 배수인 만큼 토양 배수 불량으로 인한 작물 재배 한계를 극복하기 위한 배수암거 시스템 기술 개발과 현장에서의 기술 적용 및 평가의 중요성은 점차 커지고 있다.

저비용 고효율의 암거개발은 소요 통수능력을 발휘하면서 가격이 저렴한 암거관과 소수재의 선정이 필요하다(Kim et al., 2018). 8종의 암거재료에 대한 배수성능시험결과 토목섬유로 피복한 주름유공관의 배수성능이 가장 우수하다고 보고 되었다(Kim et al., 2018). 논은 배수가 불량하기 때문에 일반적으로 습해에 약한 밭 작물을 재배하기 위해서는 배수관리가 중요하며 Kim et al. (1996)은 논에서 밭작물 재배를 위해 암거시설을 도입하면 지표배수만으로는 배제할 수 없는 잔류수와 땅속의 중력수를 배제시켜 지하수위를 신속히 저하시킬 수 있는 장점이 있다고 하였다. Shin et al. (2008)은 배수불량 논에서 암거배수처리의 사료작물생산에 미치는 영향을 분석한 결과 배수간격으로 5 m가 적당하다고 판단하였다. Kim et al. (2003)은 신설 하우스 시설재배지의 파이프 암거설치를 통한 토양의 물리화학성 및 작물의 생산성 개선에 관한 연구에서 암거 설치구가 무처리구에 비해 토양물리성을 개선시켰으며, 토양 내 염류 농도가 감소되는 것을 확인하였다. Kim et al. (2006)은 염류집적이 문제시되는 시설재배지에 유공관 암거배수를 설치함으로써 토양에 과량 존재하는 무기 염류 성분을 제거시킬 수 있는 방법을 제시하였다. 간척농지에서 밭 작물 재배를 위한 암거 설치조건에 따른 제염 특성을 수치적으로 분석하여 간척지 지하배수 및 제염 촉진 방안이 제시되었다(Kim et al., 2015). 최근 밭 작물 재배를 위한 배수암거 관련 연구는 비굴착 지하배수암거 형태별 지하배수 성능 비교 및 배수효율이 높은 지하암거의 간격과 주름유공관의 통수능 비교분석을 통한 최적 암거공법의 적용 가능성을 제시하였다(Kim et al., 2018; Kim et al., 2019).

따라서 본 연구는 휴간척지 토양 또는 저습답 속의 수분을 정해진 시간내 배제하여 작물에 습해를 주지 않기 위한 암거 배수 기술에 대한 효율성, 시공성 및 경제성 측면에 대한 분석과 이에 대한 기술의 현장 적용 및 현장에서의 작물 생육 시험에 대한 분석 및 평가를 통해 최적 암거 배수 기술을 제시하기 위해 수행되었다.

Materials and Methods

배수암거 종류별 기술 분석

현재 국내에서의 배수 암거공법은 크게 굴착식과 무굴착식으로 나누어져 있다(Kim et al., 2018). 우선 굴착식 암거는 공사 기간이나 공사비 증가로 경제성 및 효율성이 저하되는 문제점이 발생함에 따라 이를 개선하는 무굴착식 암거 공법이 도입되어 공사비 절감과 효율성을 증대시킬 수 있었지만, 토립자 유입에 따라 통수단면이 저하되고 폐색되는 한계점이 나타났다(Table 1).

이번 연구에서는 기존 굴착식 및 무굴착식 암거 공법과 암거 폐색을 해결할 수 있는 부속 제품(전면필터)을 설치

한 암거배수 공법 등 배수암거 종류별로 배수 능력 및 경제성 분석을 실시하였다. 배수능력에서는 배수암거 종류별 배수량($\text{cm}^3 \cdot \text{sec}^{-1} \cdot \text{day}^{-1}$)과 단위 지하배수량($\text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$)을 비교 분석하고, 경제성에서는 배수암거 종류별 설치 공사비(백만원· ha^{-1})를 비교 분석하였다. 배수암거 종류별 실험 대상은 Table 2와 같이 4가지 실험 종류를 구성하였다.

Table 1. Comparison of the existing subsurface drainage culvert systems (excavated subsurface drainage type and non-excavated subsurface drainage type).



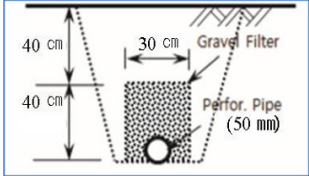
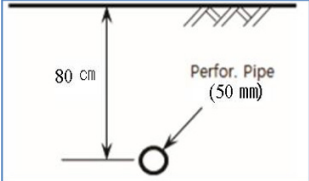
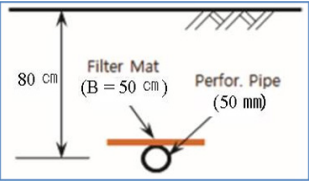
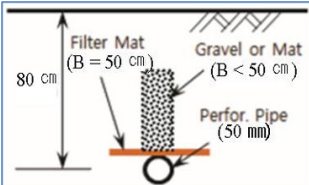
| Excavated subsurface drainage system | Non-excavated subsurface drainage system |
|---|--|
| PE perforated drain pipe (diameter 150 mm) + geotextile coverage | Corrugated perforated drain pipe (diameter 50 mm) + Geotextile mat (width 500 mm) |
|  |  |
| Excavated style: Long construction period and high construction cost | Non-excavated style: Drain pipe occlusion |

Table 2. Experiment units of subsurface drainage culvert systems.

| Test unit | Types of drainage system | Design of installation |
|-----------|--|---|
| Type 1 | Excavated style Perforated drain pipe 50 mm Gravel filter B30 × H40 cm Subsoiling 70 cm Culvert spacing 10 m |  |
| Type 2 | Non-excavated style Perforated drain pipe 50 mm Subsoiling 70 cm Culvert spacing 5 m |  |
| Type 3 | Non-excavated style Perforated drain pipe 50 mm Filter mat B50 cm Subsoiling 70 cm Culvert spacing 5 m |  |
| Type 4 | Non-excavated style Perforated drain pipe 50 mm Filter mat B50 cm Sand and Gravel mat B10 cm Culvert spacing 5 m |  |

현장 시험지구 배수암거 기술 적용

배수암거 종류별 배수 능력 분석 결과에 따라 최적으로 선정된 배수암거 기술을 검증하기 위하여 현장에서 시험 시공하여 기술 검증을 평가하였다. 암거배수 기술 검증은 배수암거 종류별 기술 분석 결과 가장 효율적으로 도출된 기술을 간척농지 및 저습담 시험 현장지구에 설치하여 시간별 함수비, 단위배수량 및 염도 측정 분석하는 방법으로 기술을 현장 검증하였다. 특히, 배수량 측정은 수동식으로 암거 말단부에 유량측정용 메스실린더를 설치하여 시간당 유입되는 배수량을 측정하여 계산하였다. 현장 시험지구는 총 5개 지구로 간척지 2개 지구와 저습담 3개 지구를 대상으로 실험을 실시하였다(Table 3 and Table 4).

암거-비암거별 작물 생육 실험

배수암거 시설 유무에 따른 발작물의 생육 상태 평가를 위해 현장 시험지구를 대상으로 배수암거 설치 구간과 비암거 설치 구간별로 밭 작물인 참깨(*Sesamum indicum*)를 정식하였다. 참깨 종자는 종묘상에서 구매하여 직파하였으며, 종자 3 - 4개를 점파하였다. 본엽이 3 - 4매 나왔을 때, 솟아주었으며 식재 간격은 25 cm를 유지하였다. 정식 후 20주째, 초장과 지상부 및 지하부 생체중 측정 등의 생육 분석을 실시하기 위하여 암거 및 비암거 처리 구간별 각 30주 샘플을 임의 선별하여 실험하였다(Fig. 1). 실험은 대전시 유성구 계산동 46답에 위치한 계산지구를 대상으로 배수암거 설치구간과 비암거 구간으로 나누어 진행되었다.

Table 3. Field test districts in the reclaimed land.

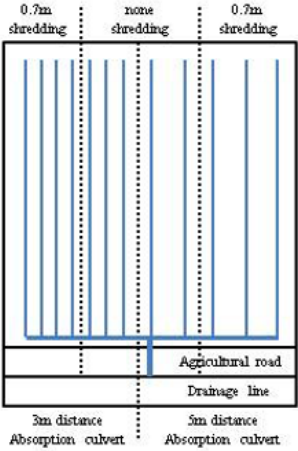
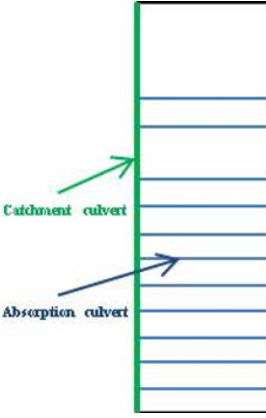
| District | Test date | Location | Design of installation |
|----------|-----------------------|--|---|
| Gum-ho | Sep. 2016 - Sep. 2017 | Gum-ho 2-1, Sani-myeon, Haenam-gun, Jeollanam-do |  |
| Mi-am | Jun. 2018 - Sep. 2018 | 1325, Namsan-ri, Miam-myeon, Yeongam-gun, Jeollanam-do |  |

Table 4. Field test districts in the paddy field.

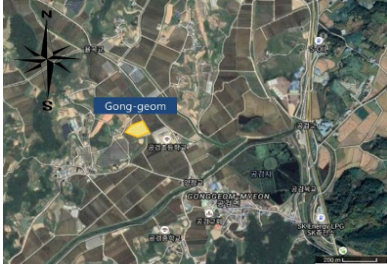
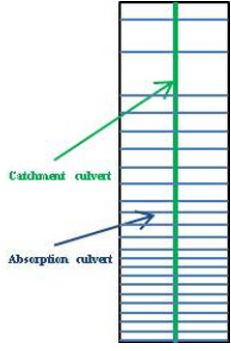



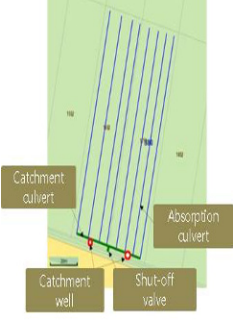
| District | Test date | Location | Design of installation |
|-----------|-----------------------|--|--|
| Gong-geom | Apr. 2017 - Oct. 2017 | 887, Bugok-ri, Gonggeom-myeon, Sangju-si, Gyeongsangbuk-do |   |
| Gae-san | Apr. 2017 - Oct. 2017 | 46, Gyesan-dong, Yuseong-gu, Daejeon |   |
| Juk-san | Apr. 2018 - Oct. 2018 | 380, Juksan-ri, Daeya-eup, Gunsan-si, Jeollabuk-do |   |



Fig. 1. Plant growth experiment according to the existence of drainage system. (A) Application the Non-excavated subsurface drainage system (Type 3) in Gae-san, (B) Set up the growth experiments in Gae-san, (C) Performed *Sesamum indicum* growth experiments.

통계 분석

본 작물 생육 실험에서의 측정 데이터 통계분석은 SPSS 20 (SPSS 20, SPSS Inc., Chicago, USA) 프로그램을 이용하여 ANOVA(변량분석)를 실시하였으며, 각 처리구간 평균 비교를 위해서 Turkey의 다중검정법(multiple range test [$p \leq 0.05$])을 적용하였다.

Results and Discussion

배수암거 종류별 기술 평가

배수암거 기술 평가에 있어서는 농업생산기반시설 설계기준(MAFRA, 2011)을 고려하였는데, 설계기준에 따르면 일반적으로 계획 암거배수량은 경지구획의 평탄 정도, 넓고 좁음, 토양의 투수성, 토지 이용형태 등에 따라 10 - 30 mm·day⁻¹로 정하도록 되어 있다. 본 실험에서 배수량 측정은 유량측정용 메스실린더를 암거 말단에 설치하여 시간별 배수량을 측정하여 계산을 하였다. 총 4가지 배수암거 유형에 대한 분석 결과, 배수 효율에 있어서는 Type 3 32.8 mm·day⁻¹, Type 4 34.6 mm·day⁻¹로 상대적으로 높은 값을 나타냈으며, 공사비 측면의 경제성에 있어서는 Type 2 22백만원·ha⁻¹, Type 3 25 백만원·ha⁻¹로 상대적으로 경제적으로 분석되었다(Table 5). 암거배수량 설계 기준인 10 - 30 mm·day⁻¹에 만족하면서, 배수 성능적인 측면과 경제적인 측면을 종합하여 분석한 결과, 무굴착식 공법으로 유공관 50 mm, 필터매트 B 50 cm, 심토파쇄 70 cm 및 암거간격 5 m 설치를 하는 Type 3이 배수효율 32.8 mm·day⁻¹, 공사비 25 백만원·ha⁻¹로 가장 효율적이고 경제적인 최적의 배수암거 시스템으로 분석되었다.

현장 시험지구 배수암거 기술 평가

간척지 2개 지구와 저습답 3개 지구를 대상으로 배수암거 종류별 기술 평가에서 가장 효율적이며 경제적으로 분석된 Type 3 (무굴착식 공법으로 유공관 50 mm, 필터매트 B 50 cm, 심토파쇄 70 cm 및 암거간격 5 m 설치)을 적용하여 각 5개 현장에서 배수암거 효과를 측정 분석하였다(Fig. 2; Table 6). 배수량 측정 결과, 금호지구 41.99 mm·d⁻¹, 미암지구 41.84 mm·d⁻¹, 공검지구 42.09 mm·d⁻¹, 계산지구 42.17 mm·d⁻¹, 죽산지구 41.84 mm·d⁻¹ 등 모든 현장 시험지구에서 암거배수량 설계 기준인 10 - 30 mm보다 높은 값을 나타내고 있음을 확인할 수 있었다. 따라서 Type 3의 배수암거 시스템이 간척지와 저습답 현장에서도 적용이 가능한 배수 성능을 유지할 수 있다고 평가하였다.

현장 시험지구 작물생육 분석

대전 유성구 계산지구를 대상으로 하여 암거 및 비암거 처리 구간을 나누어 밭 작물인 참깨를 대상으로 2019년 4월부터 10월까지 생육 분석을 하였다(Fig. 3). 암거 및 비암거 처리 구간별 각 30주를 임의 선별하여 생육 분석한 결과, 초장(shoot length)은 암거처리 구간 186.7 cm, 비암거처리구간 154.4 cm이며, 지상부 생체중은 암거 처리구간 238.7 g, 비암거 처리구간 170.4 g이었으며, 지하부 생체중 경우도 암거 처리구간 84.7 g, 비암거 처리구간 49.2 g 등으로 분석되었다(Fig. 4). 결국 암거 처리구간에서 참깨의 초장, 지상부와 지하부의 생체중 및 건체중 값이 유의적으로 높게 분석됨을 볼 때, 암거처리 구간에서의 작물 생육이 비암거 처리구간에 비해 상대적으로 유리하다는 결론을 도출할 수 있었다. 이는 암거 처리구간에서의 배수 성능 효과로 참깨의 생육에 유리한 영향을 주었다고 할 수 있으며, Fausey and Cooper (1991)가 콩의 지하배수 개선 효과 연구에서 지하배수 설치에 따라 콩의 단위생산량이 20% 이상 증가한 결과와 유사하다고 할 수 있다.

Table 5. Performance evaluation of the subsurface drainage culvert systems.

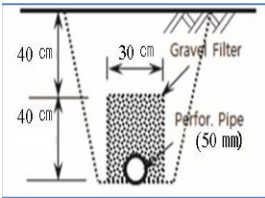
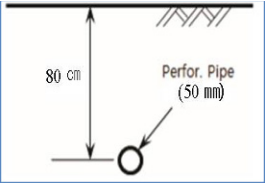
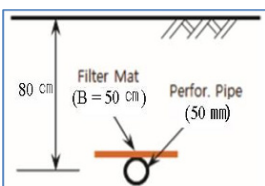
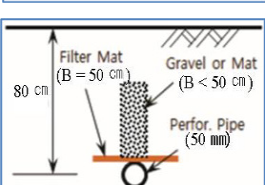
| Test type | Condition of installation | Analysis results | | | |
|-----------|--|--|--|---|-----------|
| | | Amount of discharge ($\text{cm}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$) | Unit subsurface discharge ($\text{mm} \cdot \text{day}^{-1}$) | Construction cost (million won $\cdot\text{ha}^{-1}$) | |
| Type 1 | Excavated style Perforated drain pipe 50 mm Gravel filter B30 × H40 cm Subsoiling 70 cm Culvert spacing 10 m |  | 2.136 | 18.5 (100%) | 40 (100%) |
| Type 2 | Non-excavated style Perforated drain pipe 50 mm Subsoiling 70 cm Culvert spacing 5 m |  | 1.171 | 20.2 (110%) | 22 (55%) |
| Type 3 | Non-excavated style Perforated drain pipe 50 mm Filter mat B50 cm Subsoiling 70 cm Culvert spacing 5 m |  | 1.896 | 32.8 (178%) | 25 (63%) |
| Type 4 | Non-excavated style Perforated drain pipe 50 mm Filter mat B50 cm Sand and Gravel mat B10 cm Culvert spacing 5 m |  | 2.005 | 34.6 (188%) | 30 (75%) |

Table 6. Performance evaluation of the subsurface drainage culvert system in the field test.

| Test district | Water contents (%) | Unit subsurface discharge ($\text{mm} \cdot \text{d}^{-1}$) | Salinity ($\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$) |
|-------------------------|--------------------|--|---|
| Gum-ho (reclaimed land) | 40 - 60 | 41.99 | 15 - 18 |
| Mi-am (reclaimed land) | 30 - 50 | 41.84 | 8 - 15 |
| Gong-geom (paddy field) | 30 - 45 | 42.09 | below 2 |
| Gae-san (paddy field) | 40 - 50 | 42.17 | below 2 |
| Juk-san (paddy field) | 35 - 50 | 41.84 | below 2 |

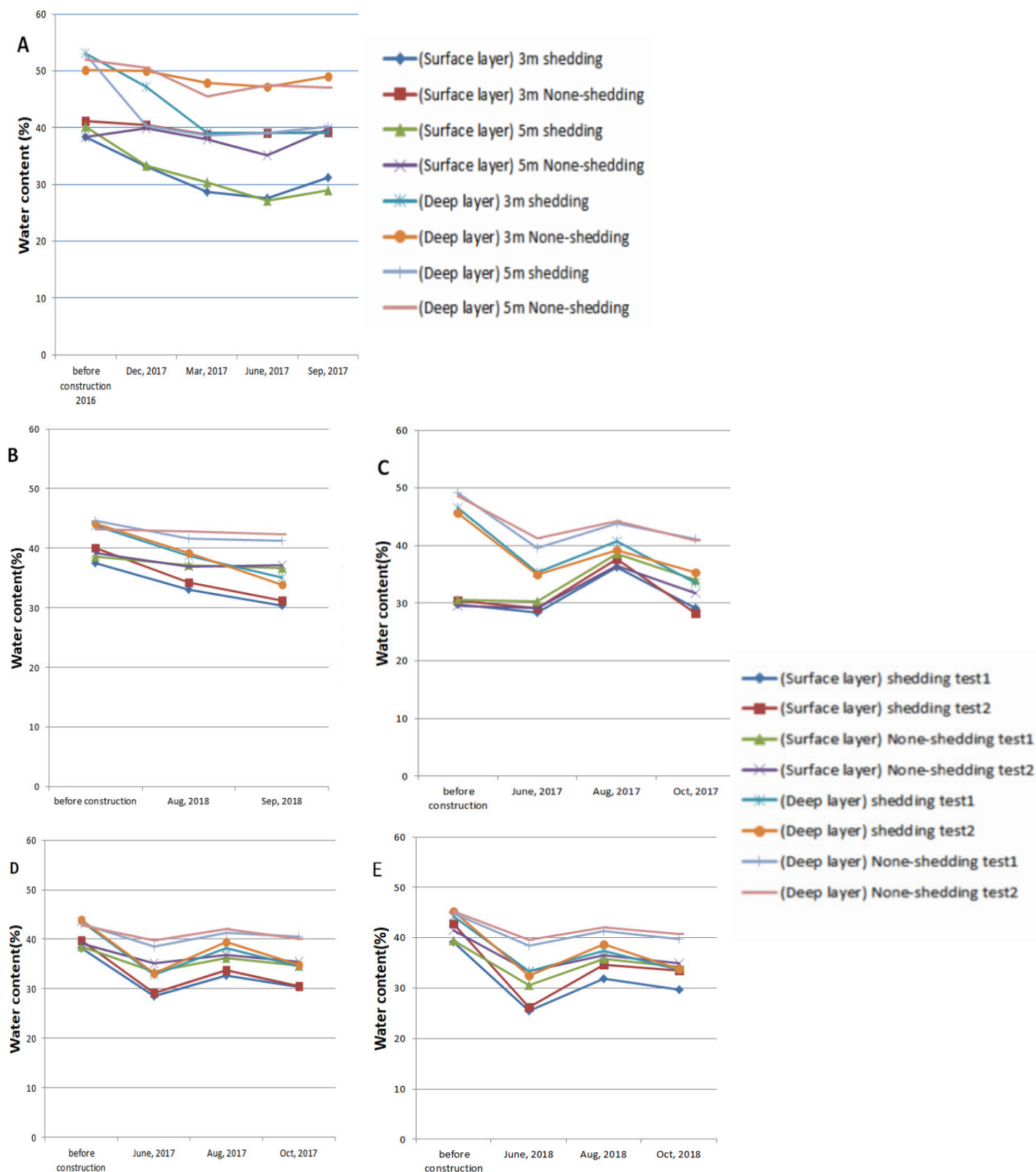


Fig. 2. Analysis result of water content ration in the field of (A) Gum-ho, (B) Mi-am, (C) Gong-geom, (D) Gae-san, (E) Juk-san district.

Conclusion

본 연구에서는 기존 굴착식 및 무굴착식 암거 공법과 암거 폐색을 해결할 수 있는 부속 제품(전면필터)을 설치한 암거배수 공법 등 배수암거 종류별로 배수 능력 및 경제성 분석을 실시하였다. 이를 위해 배수암거 종류별 4가지 실험조건으로 암거의 종류 및 설치배치도를 구성하였다. 현장 시험지구 배수암거 기술 적용 및 검증을 위해 시험 지구로 간척지 2개 지구와 저습답 3개 지구를 선정하였다. 배수암거 시설 유무에 따른 밭작물의 생육 상태 평가를 위해 계산지구를 대상으로 참깨를 대상으로 2019년 4월부터 10월까지 참깨 작물 생육 분석 실험을 실시하였다.

총 4가지 배수암거 유형에 대한 성능 분석 결과 배수 효율에 있어서는 Type 3과 Type 4 처리에서 상대적으로 높은 값을 나타냈으며, 경제성 측면에서 Type 2와 Type 3가 상대적으로 높은 것으로 분석되었다. 설계 기준에 만족하면서, 배수 능력에 따른 작물 성장과 경제적인 측면을 종합하여 고려할 때, 무굴착식(유공관, 필터매트, 심토파쇄) 공법으로 유공관 50 mm, 필터매트 B 50 cm, 심토파쇄 70 cm 및 암거간격 5 m 설치를 하는 Type 3이 가장 효율적이고 경제적인 최적의 배수암거 시스템으로 분석되었다.



Fig. 3. Comparison of *Sesamum indicum* growth at the end of the growing period in (A) the field of drainage and (B) Non-drainage systems.

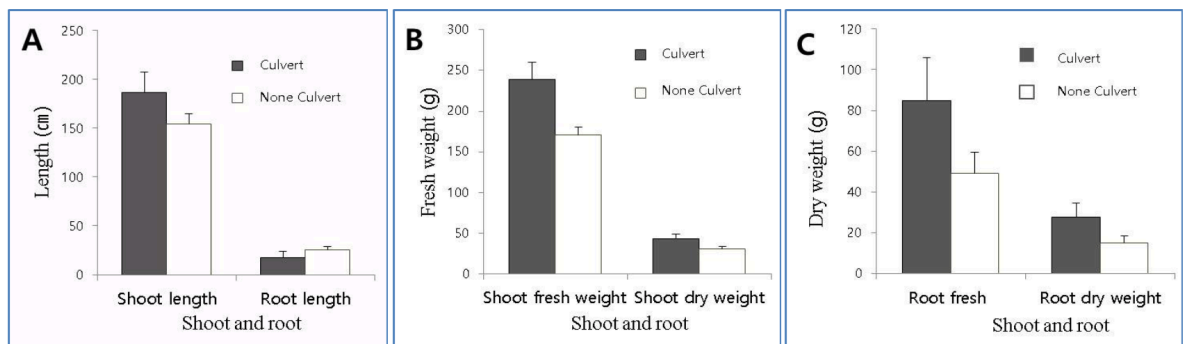


Fig. 4. Analysis of plant growth (A) *Sesamum indicum* height (shoot and root length), (B) *Sesamum indicum* weight (shoot fresh and dry weight), (C) *Sesamum indicum* weight (root fresh and dry weight).

또한, Type 3을 현장 시험지구에 설치하여 배수 성능을 평가하였을 때도 모든 시험 현장에서 양호한 값을 나타내었고, 작물 생육에 있어서도 배수 암거 설치구간에서 좋은 결과를 나타내었다. 따라서 범용농지 작물 재배를 위해서는 무굴착식 암거 설치 기술이 가장 적합할 것이다

Acknowledgements

본 연구는 충남대학교 학술연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

Authors Information

Jongwon Do, <https://orcid.org/0000-0001-7416-0232>

Jongseok Park, <https://orcid.org/0000-0003-4537-6223>

Hyuntai Kim, Mirae Rural Technology Institute, Representative Director

Kwangya Lee, Korea Rural Community Corporation, Water Resources Planning Office, Director General

Hyungjin Shin, <https://orcid.org/0000-0002-7271-6126>

References

- Choi BS, Jang Y, Lee SH, Chung NJ, Cho JW. 2019. Comparison of forage yield and growth characteristic of two forage rice cultivars (cv. Mogyang and cv. Mogwoo) in a reclaimed rice field. *Korean Journal of Agricultural Science* 46:791-798. [in Korean]
- Fausey NR, Cooper RL. 1991. Sub-irrigation response of soybean grown with high yield potential management, International Conference on Sub-irrigation and Controlled Drainage. Lansing, Michigan, USA. August 12-14.
- Kim DS, Yang JE, Ok YS, Yoo KY. 2006. Effect of perforated PVC underdrainage pipe on desalting of plastic film house soils. *Korean Journal of Soil Science Fertilizer* 39:26-72. [in Korean]
- Kim HT, Ryu JY, Jung KY, Park YJ. 2019. A comparative study on the spacing and discharge performance of subsurface drainage culvert to increase drainage efficiency. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 61:67-72. [in Korean]
- Kim HT, Ryu JY, Jung KY, Seo DU. 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* 60:73-81. [in Korean]
- Kim HT, Seo DU, Yoo CH, Kim SY. 2015. Theoretical analysis of soil desalination characteristics for underdrain system at reclaimed Tidal Land. *Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers* 57:87-92. [in Korean]
- Kim LY, Cho HJ, Han KH. 2003. Effects of tile drain on physicochemical properties and crop productivity of soils under newly constructed plastic film house. *Korean Journal of Soil Science Fertilizer* 36:154-162. [in Korean]
- Kim SW, Kim CG, Lee GC. 1996. *Agriculture hydraulics*. p. 300. Hayangmunsa, Seoul, Korea. [in Korean]
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2011. Planning and design criteria for agricultural production infrastructure development and improvement project (drainage). pp. 283-290. MAFRA, Sejong, Korea. [in Korean]
- MAFRA (Ministry of Agriculture, Food and Rural Affairs). 2018. *Agriculture, food and rural affairs statistics yearbook*. MAFRA, Sejong, Korea. [in Korean]
- Shin JS, Jeon JG, Lee SB, Kin WH, Yoon SH, Lee JK, Kim JG, Jung MW, Seo S, Lim YC. 2008. Effect of drainage culvert spacing on forage crops production in poorly drained paddy field converted upland crop cultivation. *Journal of the Korean Society of Grassland and Forage Science* 28:301-306. [in Korean]

Statistics Korea. 2019a. Structure change of rice industry confirmed by statistics. Accessed in https://blog.naver.com/hi_nso/221687533851 on 13 January 2020. [in Korean]

Statistics Korea. 2019b. 2018 Grain consumption survey results. Accessed in http://kostat.go.kr/portal/korea/kor_nw/1/4/8/index.board on 13 January 2020. [in Korean]