Journal of the Korean Society of Agricultural Engineers
DOI : https://doi.org/10.5389/KSAE.2021.63.5.073

Vol. 63, No. 5, pp.73~81, September 2021
ISSN 1738-3692 | eISSN 2093-7709

# 경남지역 딸기, 토마토, 파프리카 양액재배에 따른 발생부하량 비교

## Comparison of Generated Loads by Hydroponics of Strawberry, Tomato, and Paprika in Gyeongsangnam-do

조현경[a] · 김상민[b, †]
Cho, Hyun Kyung · Kim, Sang Min

ABSTRACT

The objective of this study was to analyze the waste nutrient generation loads from hydroponics for three major crops in Gyeongsangnam-do. Study hydroponic farms were selected for the three major crops such as paprika, strawberry, tomato based on the agricultural statistics data and field investigation. The flow amount and water quality for inflow and outflow of study hydroponic farms were monitored and analyzed on a monthly basis. Monitored samples were analyzed in terms of DO, BOD, T-N, T-P, SS, and EC. The generated load of BOD, T-N, and T-P were calculated from the monitored flow and water quality. The monitoring results showed that the drainage ratio for the circular hydroponic farm was lower than the non-circular hydroponic farm because the outflow from the circular hydroponics were much lower than that from the non-circular. The generated load calculation results showed that the BOD tended to have a smaller value than the TMDLs guideline for land, while T-N and T-P showed higher value than that from the TMDLs guideline. In order to effectively manage the pollutant load discharged from the hydroponics farming complex, it is necessary to manage the non-circulating hydroponics farm. To improve water quality, it is necessary to gradually expand the circulating hydroponics farm through policy and economic support.

Keywords: Circular hydroponics; drainage ratio; generated load; paprika; strawberry; tomato

## Ⅰ. Introduction

우리나라의 수경재배는 대규모 재배단지를 제외하면 고형배지를 이용한 비순환식 양액재배로 재배되고 있는데, 양액재배는 점적관수 (배액)를 통해 상토나 고형배지에 양분과 수분을 공급하여 작물이 뿌리를 통해 이를 흡수하게 하는 영농형태이다 (Lee et al., 2019). 전체 양액재배면적의 약 79.6%를 차지하는 고형배지경 재배에서는 공급 양액의 20～30%의 배액이 유지되도록 해야 염류집적 및 pH 변동을 최소화시킬 수 있고 생산성도 높일 수 있다 (An et al., 2005; Kim et al., 2014). 이 과정에서 고형배지경 재배는 비료비 상승을 야기하거나 질산태 질소 등 양분의 고농도 유출로 인한 지하수 오염원으로 작용하기도 한다 (Ahn et al., 2014). 배액을 재사용하는 순환식 양액재배 방식의 경우 수분의 이용효율을 증가시키고 (Ahn et al., 2010), 환경오염원을 감소시키는 장점이 있지만, 현재까지 국내 순환식 양액재배 시스템 보급률은 5% 미만으로 낮다. 이는 순환식 시스템의 초기투자비용이 비순환식에 비해 10～15% 높고 설치 후에도 주기적으로 재사용 양액 분석 등의 추가적인 운영비가 필요하여 순환식을 꺼리기 때문으로 분석된다 (Lee and Kim, 2019).

국외에서는 네덜란드의 경우 2000년부터 모든 양액재배 농가가 순환식 양액재배 시스템을 채택하도록 규정하고 있으며, 물을 여과하고 자외선으로 소독하여 재사용하며 용수 또한 지하수를 사용하지 않고 주로 온실에서 받은 빗물로 자급하도록 한다. 일본에서는 에코파머라는 제도를 적용하여 양액재배에서 배출되는 오염원을 삭감하면 경제적 지원을 한다 (KEI, 2018). 국내의 경우 양액재배 면적은 3,400 ha를 넘어섰고 (Statistics Korea, 2020), 여기에서 발생하는 폐양액과 버려지는 비료염이 약 7,000톤에 달하고 있음에도 불구하고 (Jang et al., 2012) 법적인 규제가 이루어지고 있지 않다. 실례로 전라북도 시설원예 재배지에서 배출되는 배양액 중 총질소 (평균 150ppm)와 총인 (평균18 ppm)의 농도는 환경부 배출기준을 총질소는 약 4배, 총인은 약 30배 이상 초과하고 있다 (Cho, 2017). 순환식 양액재배의 확대를 위해서는 순환식 재배를 위한 기술보급과 순환식 시스템을 도입하는 소규모 농가의 지원방안과 순환식 시스템 기술에 대한 홍보 및 교육이 필요하다. 또한, 순환식 양액재배에 따른 배출부하량 저감효과 등을 분석하여 오염총량관리에서 순환식 양액재배를 도입할 경우

[a] Ph.D. student, Department of Agricultural Engineering, Gyeongsang National University
[b] Professor, Department of Agricultural Engineering (Insti. of Agric. and Life Sci.), Gyeongsang National University.
† Corresponding author
Tel.: +82-55-772-1931, Fax: +82-55-772-1939
E-mail: smkim@gnu.ac.kr
Received: July 13, 2021
Revised: September 14, 2021
Accepted: September 16, 2021

삭감부하량으로 인정하는 제도도 필요하다.

이를 위해 본 연구에서는 순환식 양액재배 도입에 따른 배출부하량 삭감효과를 분석하기 위한 모니터링을 실시하였다. 강우시 토마토 시설재배지에서 유출 EMC, 부하량 및 원단위를 연구한 선행연구 (Jeon et al., 2013)가 있지만 순환식과 비순환식을 구분하여 분석한 사례가 없어 경남지역의 주요 양액재배작물인 딸기, 토마토, 파프리카를 선정하여 작물의 생육기간을 고려하여 유입양액와 유출양액의 유량과 수질모니터링을 실시하였다. 모니터링 자료를 이용하여 유출양액의 발생부하량을 산정하여 수질오염총량지침의 토지계 하우스 재배지 발생부하량과 비교 분석하였다.

## II. Materials and Methods

### 1. 대상지역

본 연구의 대상지역은 진주시 수곡면과 반성면에 위치하고 있으며, 진주시의 양액재배면적은 161.4 ha로 경상남도에서 두 번째로 면적이 크며, 146 ha가 코코넛피트를 이용한 고형배지경으로 재배되고 있다. 경남지역에서 재배되고 있는 주요 양액재배 작물로 딸기, 토마토, 파프리카에 대해 농가와의 협의를 거쳐 모니터링에 대한 협조를 구한 농가를 대상으로 딸기 2개, 토마토 2개, 파프리카 3개 농가를 시험지구로 선정하였다. Fig. 1은 개략적인 대상지역과 선정된 시험농가의 위치를 나타내고 있다.

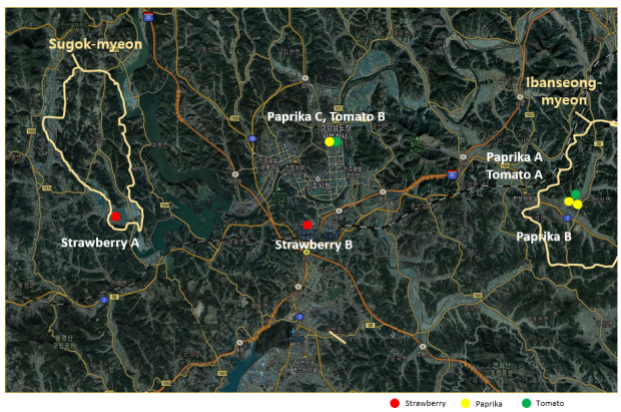



**Fig. 1** Study area and selected study hydroponic farms

### 2. 시험농가 및 모니터링

딸기 농가의 경우 비교적 소규모 시설로 모두 비순환식으로 운영되고 있으며 파프리카와 토마토는 일부 농가에서 비순환식과 순환식을 혼용하여 재배하고 있다. 양액재배농가에서 순환식을 사용하고 있는 농가가 거의 없어 순환식 재배농가를 선정하는 데 어려움이 있었으며, 파프리카B 농가만 순환식 재배방식으로 공급량과 배액량을 산정하였다. 나머지 파프리카, 토마토 농가는 비순환식으로 산정되었다. 양액재배농가에서 배출되는 폐양액은 배출되는 지점이 많아 모든 배출지점을 측정하는 것은 어려움이 있어 배출되는 대표지점에 대한 배액량을 측정한 후 이를 전체 배출량으로 환산하는 간접적인 방법으로 부하량을 산정하였다.

선정된 딸기A 농가는 진주시 수곡면에 위치한 온실로 300평 규모로 2개가 운영되고 있으며 공급양액은 원수 (지하수)에 양액을 섞어 사용하며 유출양액은 6개의 배출구를 통해 흘러나간다. 양액 유입량은 농가에 설치된 유량계를 사용하였으며, 유출양액은 딸기 배액관에 물통을 설치하여 직접 유량을 측정하였다. 딸기B 농가는 경상대학교 내 위치한 실험온실로 5개의 베드가 있는 1개 동을 운영하며 유입량은 유량계를 통해 산정하였고, 유출양액은 딸기A 농가와 마찬가지로 배액관에 물통을 설치하여 직접 유량을 측정하였다.

토마토A 농가는 파프리카A와 같은 농가로 3,000평 규모로 운영되며 짭짤이 토마토라 불리는 해외품종인 토마토를 재배하여 비교적 고농도의 EC가 주입된다. 파프리카 A 농가와 마찬가지로 자체적으로 공급량과 배액량을 측정하고 있어 식물주수를 곱한 계산법을 이용하여 유입량과 유출량을 산정하였다. 토마토B 농가는 실험온실로 공급량과 배액량을 직접 측정하고 있어 식물주수를 곱한 계산법을 이용하여 유입량과 유출량을 산정하였다.

파프리카A 농가는 진주시 이반성면에 위치한 온실로 8,000평 규모로 운영되고 있으며 양액재사용 시스템을 이용할 때 양액 재사용 비율은 30~40% 정도이다. 작물의 생육이 활발해지는 3월경부터 재사용시스템을 사용하며, 유입량과 유출량은 농가에서 자체적으로 실시한 모니터링 자료에 식물주수를 곱한 계산법을 이용하여 유입량과 유출량을 산정하였다. 파프리카B 농가도 이반성면에 위치한 온실로 10,000평 규모이며 양액 재사용 시스템 (Priva 시스템)을 이용하여 순환식

**Table 1** Strawberry, Tomato, Paprika cultivation status

| Crops | | Size ($m^2$) | Circular system |
|---|---|---|---|
| Strawberry | A | 991.7 | Non-circular |
| | B | 363.6 | Non-circular |
| Tomato | A | 9,917.4 | Non-circular+circular |
| | B | 595.0 | Non-circular+circular |
| Paprika | A | 26,446.4 | Non-circular+circular |
| | B | 33,057.9 | Circular |
| | C | 727.3 | Non-circular+circular |

(a) Strawberry A

(b) Strawberry B

(c) Tomato A

(d) Tomato B

(e) Paprika A

(f) Paprika B

(g) Paprika C

**Fig. 2** Study hydroponics site photos for strawberry, tomato, and paprika

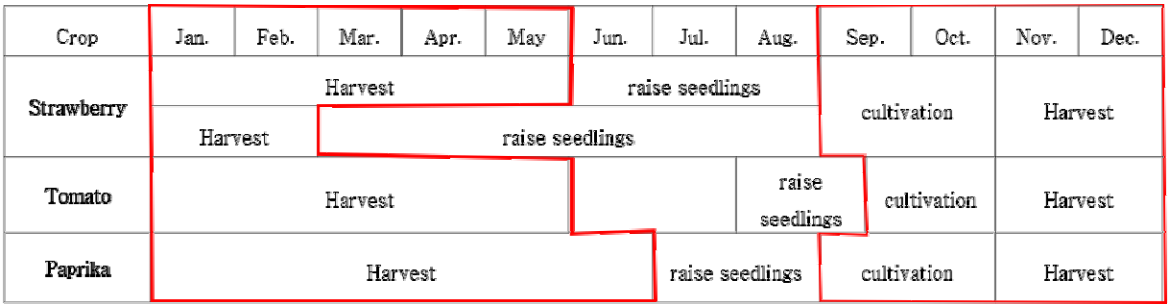



**Fig. 3** Cultivation period of three major hydroponic crops in Gyeongnam

**Table 2** Schedule of inflow, outflow and water quality sampling for study farms

| Sampling item | 2019 | | | | | 2020 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Aug. | Sep. | Oct. | Nov. | Dec. | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | May |
| Inflow, outflow, and water quality | - | 9/18<br>9/26 | 10/18<br>10/31 | 11/19 | 12/6<br>12/31 | 1/31 | 2/28 | 3/31 | 4/28 | 5/26<br>5/27 |

재배를 하고 있다. 배액의 이동은 1군데로 집수하여 배액탱크로 모이게 되며 양액 재사용시스템은 3월경부터 사용한다. 유출량을 측정하기 위해 배수로에 배출구가 유입되기 전과 후에 각각 부자식 수위계 (모델명: OTT Thalimedes Shaft Encoder)를 설치하여 배출구에서 배수로로 유입되는 유출량을 측정하였다. 파프리카C는 공공기관의 실험온실로 공급액과 배액량을 직접 측량하고 있으며, 작물을 갈아엎고 2월 다시 정식하여 2~5월 자료만 이용하였다. Fig. 2는 선정된 딸기, 토마토, 파프리카 시험농가의 현장사진을 보여주고 있으며 Table 1은 실험농가에 대한 선정된 딸기, 토마토, 파프리카의 온실 규모와 재배방식을 나타내고 있다.

Fig. 3은 본 연구에서 선정한 재배작물인 딸기, 토마토, 파프리카의 재배기간 (ME, 2020)을 나타내고 있다. 선정된 딸기, 토마토, 파프리카 농가를 대상으로 한 달에 약 2회 유입양액과 유출양액에 대한 모니터링을 실시하였으며, 모니터링 기간과 일자는 Table 2에 제시된 바와 같다. 모니터링을 위해 양액재배 유입관에 부착된 유량계를 이용하여 유입량을 측정하였고, 대부분의 유출관에는 유량계가 없어 배출되는 유출량을 직접 측정하여 식물주수를 곱하는 간접적인 방식으로 유출량을 측정하였다. 토마토와 파프리카는 농가 자체적으로 유입, 유출량을 양액재배자동화시스템으로 측정하고 있다.

## Ⅲ. Results and Discussion

### 1. 유입 및 유출 양액량

시험농가에 대한 유입양액과 유출양액의 모니터링 결과는 Table 3에 정리하여 보여주고 있다. 딸기A 농가의 유입량은 작물생육기간에 따라 차이를 보이며 월별로 2,436.6~13,136 L/day, 유출량은 21.0~2,952 L/day의 범위를 보였으며, 평균 23.3%의 배액율을 보였다. 유입량은 10~12월경 작물생육 초기의 값이 대체적으로 크며, 유출량은 작기가 끝날수록 작아지는 경향을 보였다. 딸기B 농가의 유입량은 212~587 L/day, 유출량은 18~220 L/day으로 배액율은 평균 23.1%로 조사되었다.

토마토A 농가의 유입량은 16,082~38,376 L/day, 유출량은 998~3,837 L/day로 평균 7.1% 배액율을 보였으며, 토마토B 농가는 유입량은 219~485 L/day, 유출량은 50~174 L/day로 배액율이 평균 26.8%로 조사되었다.

딸기를 제외한 양액재배 농가들은 대부분 작기에 따라 유입량과 유출량을 제어하고 있으며 작기가 시작되는 9~10월에 비해 생육기 (12~3월)에 더 많은 유입량을 투입한다. 그러나 재배하는 작물의 품종에 따라 유입량과 유출량이 달라지기도 하는데 토마토A 농가의 경우 짭짤이 토마토로 수확시기에 가까워질수록 유입량을 줄여 재배를 하고 있다.

파프리카A 농가는 유입량이 11,327~22,647 L/day, 유출량이 989~2,654 L/day로 평균배액율이 12.8%를 보였다. 파프리카B 농가는 유입량이 21,286~59,644 L/day, 유출량이 210~2,642 L/day로 평균배액율이 2.23%를 보였다. 파프리카B 농가의 경우 배액을 직접 측정한 것이 아니라 배수로로 유출되는 유량을 수위계로 측정한 값으로 타 농가에 비해 매우 작은 유출량이 측정되었다. 순환식 재배로 인해 배액량이 작은 값이 나온 것인지, 측정과정에서 발생한 문제인지 추후 추가적인 연구가 필요하다. 파프리카C의 경우 공공기관에서 실험온

**Table 3** Results of monthly inflow, outflow and drainage ratio (L/Day)

| Hydroponic farms | Item | 2019 | | | | 2020 | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Sep. | Oct. | Nov. | Dec. | Jan. | Feb. | Mar. | Apr. | May |
| Strawberry A | Inflow | 3,947 | 13,136 | 7,900 | 7,814 | 5,281 | 4,261 | 3,581 | 2436.6 | × |
| | Outflow | - | - | 2,952 | 2,052 | 1,880 | 1,604 | 71.4 | 21.0 | × |
| | Drainage ratio (%) | - | - | 37.4 | 26.3 | 35.6 | 37.6 | 2.0 | 0.9 | × |
| Strawberry B | Inflow | 557 | 557 | 555 | 587 | 502 | 489 | 425 | 212 | × |
| | Outflow | 188 | 188 | 220 | 211 | 112 | 92 | 63 | 18 | × |
| | Drainage ratio (%) | 33.8 | 33.8 | 39.6 | 36.0 | 22.3 | 18.8 | 14.8 | 8.5 | × |
| Tomato A | Inflow | 32,322 | 38,376 | 16,082 | 16,817 | 18,246 | 19,243 | 20,345 | 21,324 | 20,697 |
| | Outflow | 2,837 | 2,189 | 1,317 | 1,542 | 1,324 | 998 | 1,214 | 1,543 | 1,246 |
| | Drainage ratio (%) | 8.8 | 5.7 | 8.2 | 9.2 | 7.3 | 5.2 | 6.0 | 7.2 | 6.0 |
| Tomato B | Inflow | - | 219 | 321 | 275 | 288 | 347 | 404 | 484 | 485 |
| | Outflow | - | 54 | 50 | 55 | 82 | 88 | 116 | 173 | 174 |
| | Drainage ratio (%) | - | 24.7 | 15.6 | 20.0 | 28.5 | 25.4 | 28.7 | 35.7 | 35.9 |
| Paprika A | Inflow | 18,852 | 16,278 | 11,327 | 11,585 | 13,542 | 16,543 | 20,246 | 22,647 | 21,964 |
| | Outflow | 2,311 | 3,835 | 989 | 2,022 | 1,834 | 1,546 | 2,654 | 1,985 | 1,864 |
| | Drainage ratio (%) | 12.3 | 23.6 | 8.7 | 17.5 | 13.5 | 9.3 | 13.1 | 8.8 | 8.5 |
| Paprika B | Inflow | 31,732 | 38,916 | 29,570 | 21,286 | 32,548 | 38,356 | 53,925 | 58,484 | 59,644 |
| | Outflow | - | 210 | 345 | 335 | 348 | 427 | 1,023 | 1,274 | 1,242 |
| | Drainage ratio (%) | - | 0.5 | 1.2 | 1.6 | 1.1 | 1.1 | 3.7 | 3.6 | 5.1 |
| Paprika C | Inflow | --- | --- | --- | --- | --- | 166.1 | 154.1 | 402.2 | 459.8 |
| | Outflow | --- | --- | --- | --- | --- | 142.4 | 62.1 | 80.8 | 114.9 |
| | Drainage ratio (%) | --- | --- | --- | --- | --- | 81.3 | 38.6 | 20.2 | 24.9 |

×: 작기가 마무리되어 양액 채수 불가 --- : 19.9~20.01 재배하던 파프리카 갈아엎고 다시 정식하여 2월부터 새로 측정 – 폐양액 부족으로 채수불가

실로 작물을 갈아엎고 2월 다시 정식하여 2~5월 자료만 이용하였으며, 배액율이 20.2~81.3%로 비교적 높은 것으로 조사되었다. 파프리카C의 경우 자료기간과 재배목적이 상이하지만 자료의 비교목적으로 참고용으로 정리하여 기술하였다.

시기와 작물에 따라 다소간의 차이는 있으나 유입양액에 비해 유출양액의 수질농도값이 큰 값을 보여주고 있다. 유입된 유입양액에 비해 유출양액의 수질농도가 높은 이유는 배지 자체에서 나오는 영양물질과 유입양액이 집적되어 있다가 유출양액에 섞여 나오기 때문으로 판단된다.

## 2. 부하량 분석 결과

파프리카, 딸기, 토마토 유출액의 수질분석 결과와 양액 유출량 자료를 이용하여 유출양액의 발생부하량을 산정하였다. 수질오염총량관리 지침의 하우스재배지 발생부하량은 BOD 11.85, T-N 4.99, T-P 3.51 kg/km$^2$ · day이며, 오염총량관리 지침의 하우스재배지 발생부하량은 작물과 재배방식에 따른 구분 없이 하우스재배지에 대한 값을 제시하고 있다. 본 연구에서 얻어진 결과는 모니터링 한 수질농도 mg/L와 유출량 m$^3$를 mg/L/m$^3$ → kg/km$^2$ · day로 변환하였으며, 각 재배작물별 결과는 BOD의 경우 기존 지침에 비해 본 연구에서 얻어진 결과가 대체로 매우 낮은 결과를 보였으며, T-N과 T-P는 기존 지

침에 비해 본 연구의 결과가 대체로 큰 결과를 보였다. 다만 파프리카의 경우 T-P는 기존 지침과 큰 차이를 보이지 않았다. 파프리카 A, B, C의 부하량을 비교해보면 순환식 양액재배를 사용하는 파프리카 B의 부하량이 비순환식 온실에 비해 매우 낮은 값을 보였으며, 이는 유출양액의 유량이 적어 부하량이 낮은 것으로 판단된다. 순환식과 비순환식에 따른 차이가 큰 결과를 보였으며, 향후 순환식 양액재배 시설을 확대할 경우 농업비점오염 저감에 효과가 있을 뿐 아니라 양액 사용량도 줄어들어 농가에 경제적 도움이 될 것으로 판단된다. Fig. 4는 재배기간 동안의 각 작물별 BOD, T-N의 유입수와 유출수에 대한 수질농도를 보여주고 있으며, Fig. 5는 본 연구에서 각 작물별로 얻어진 부하량 산정결과와 수질오염총량관리 지침의 하우스재배지에 대한 발생부하량을 비교하여 보여주고 있다.

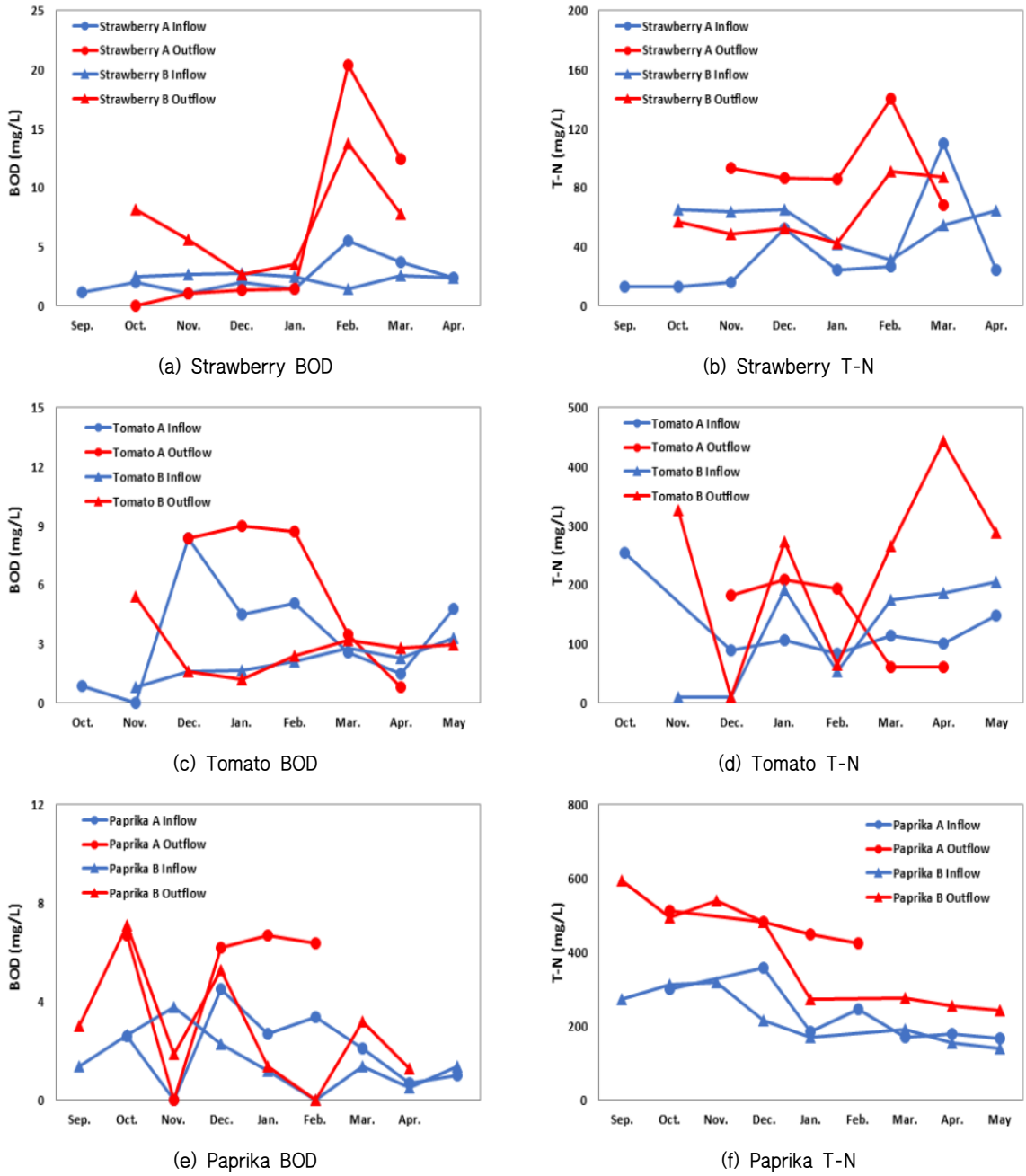
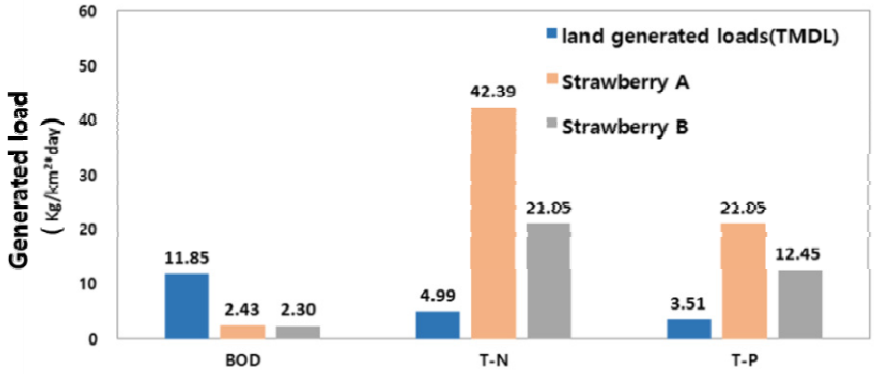
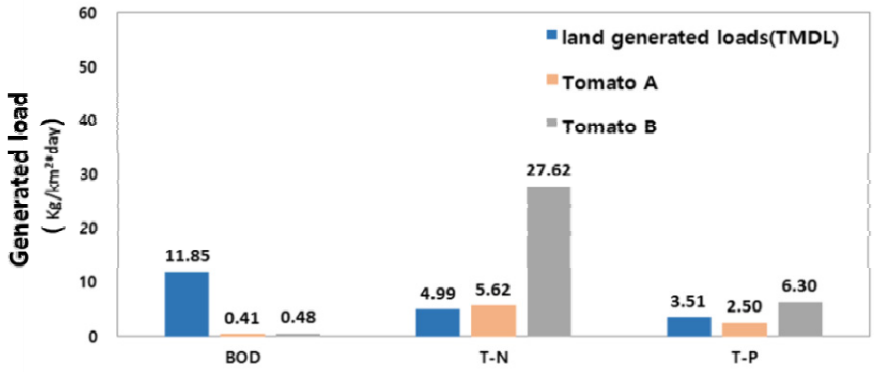


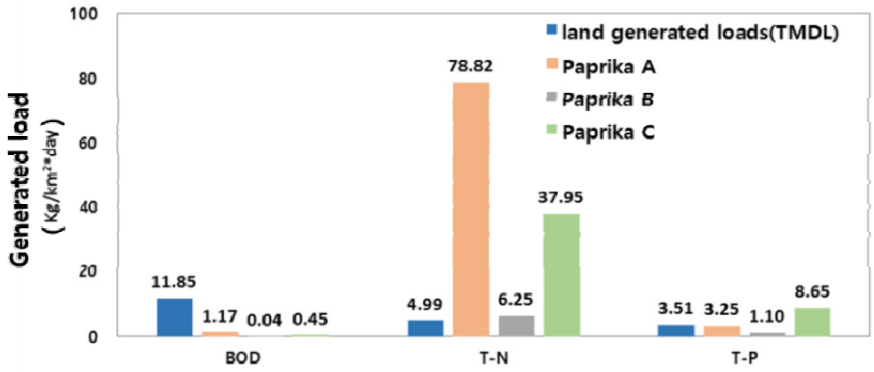

**Fig. 4** Inflow and outflow water quality concentration (BOD and T-N) for strawberry, tomato, and paprika study farms




(a) Strawberry




(b) Tomato




(c) Paprika

**Fig. 5** Comparison of generated load between the TMDLs guideline for land and monitored loads for strawberry, tomato, and paprika

## Ⅳ. Conclusion

본 연구에서는 순환식 양액재배 도입에 따른 배출부하량 삭감효과를 분석하기 위해 경남지역의 주요 양액재배작물인 딸기, 토마토, 파프리카를 대상으로 작물의 생육기간을 고려하여 유입양액와 유출양액의 유량과 수질모니터링을 실시하고, 유출양액의 발생부하량을 산정하여 수질오염총량지침의 토지계 하우스재배지 발생부하량과 비교 분석하였다.

경남지역의 양액재배 농가의 규모 및 재배현황을 파악하여 대상작물을 선정하였고, 진주시 수곡, 이반성면, 진주 소재 내 온실을 대상으로 현장방문을 통해 모니터링을 위한 농가 협조가 가능한 시험농가를 선정하였다. 선정된 양액재배 시험농가를 대상으로 작물의 생육기간을 고려하여 유입, 유출양

액의 유량과 수질모니터링을 실시하고 농가에서 자체적으로 모니터링하는 자료도 같이 이용하였다. 또한 유출양액의 수질분석 결과를 이용하여 부하량을 산정하여 수질오염총량지침 토지계 하우스재배지 부하량과 비교 분석하였다. 이를 위해 수곡에서 딸기, 이반성에서 토마토와 파프리카, 실험온실, 경상대학교 온실에서 딸기를 선정하였다.

딸기, 토마토 파프리카의 유출액의 수질분석 결과와 양액 유출량 자료를 이용하여 유출 양액의 부하량을 산정하고, 수질오염총량지침의 토지계 하우스 재배지의 연평균 발생부하량과 비교한 결과, BOD의 경우 선정농가, 온실의 유출양액 부하량이 수질오염총량관리 지침의 토지계 연평균 발생부하량보다 작은값을 가지는 경향을 나타내었다. T-N의 경우 토지계 연평균 발생부하량보다 큰값을 가지는 경향을 보였으나 T-P는 재배작물, 온실 위치별로 다른 양상을 보이며 일정한 경향을 나타내지 않았다. 이는 강우시에 배출되는 발생부하량을 산정한 환경부 수질오염총량지침의 토지계 발생부하량에 비해 본 연구에서는 유출양액의 수질값을 이용하여 부하량을 산정하였기에 비교적 높은값을 가지는 것으로 판단된다. 또한 평균 0.01 $km^2$면적의 농가들을 1 $km^2$으로 단위 환산하는 과정에서 부하량 값이 커진 것으로 생각되며 누적되는 모니터링 자료를 활용하면 양액재배 농가의 발생부하량의 정량적인 해석이 가능할 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 경남 주요 재배작물인 딸기, 토마토, 파프리카에 대한 양액재배농가의 발생부하량을 산정할 수 있었으며, 비순환식 양액재배 온실에 비해 순환식 양액재배 온실의 유출 양액 유량이 확연히 적은 것으로 조사되었다. 또한 유출양액 유량이 감소함에 따라 발생부하량 또한 대폭 감소되는 결과를 보였다. 이를 통해 향후 순환식 양액재배 시설의 보급 확대를 위한 정책자료 및 기초자료와 토지계의 발생부하량을 순환식, 비순환식으로 나누어 산정하는 방식이 필요하다는 정책제안에 활용할 수 있을 것으로 기대된다. 또한 부하량 비교분석 결과에서 BOD의 경우 수질오염총량지침의 토지계 부하량보다 작은 경향을 보였으나, T-N과 T-P의 값이 토지계 부하량보다 큰 경향을 보였으므로 양액재배 밀집지역의 환경부하 저감 방안이 필요할 것으로 판단된다. 또한 양액재배 밀집지역의 오염화 정도와 환경부하 저감을 위한 기초데이터로 활용될 수 있으며 향후 양액재배 밀집지역과 인근 하천에 대한 수질 상관성 분석도 가능할 것으로 생각된다. 추후 추가적인 연구를 통해 순환식 양액재배의 확대를 위한 지속적인 연구가 필요하다. 순환식 양액재배를 위한 재배기술의 정립, 양액순환 시스템 개발, 오염총량관리제도에서 순환식 양액재배 적용시 삭감부하량 인정과 순환식 양액재배를 위한 초기 시설투자비에 대한 지원 등 다양한 기술개발과 행정적 지원방안이 마련되어야 할 것이다.

## Acknowledgement

본 연구는 낙동강수계관리위원회의 지원을 받아 수행된 연구임 (계약번호 201906039FB-00)

## REFERENCES

1. Ahn, T. I., D. Y. Kim, and J. E. Son, 2014. Investigation of colony forming unit (CFU) of microorganisms in the aprika-grown greenhouses using open and closed soilless culture systems. *Horticultural Science and Technology* 32(1): 46-52. (in Korean) doi:10.7235/hort.2014.13103.
2. Ahn, T. I., J. H. Shin, and J. E. Son, 2010. Analysis of changes in ion concentration with time and drainageratio under EC-based nutrient control in closed-loop soilless culture for sweet pepper plants (*Capsicum annum* L. 'Boogie'). *Journal of Bio-Environment Control* 19(4): 298-304 (in Korean).
3. An, C. G., Y. H. Hwang, H. S. Yoon, H. J. Hwang, G. M. Shon, G. W. Song, and B. R. Jeong, 2005. Effect of drain ratio during fruiting period on growth and yield of sweet pepper (*Capsicum annuum* 'Jubilee') in rockwool culture. *Korean Journal of Horticultural Science and Technology* 23(3): 256- 260 (in Korean).
4. Cho, H. K., S. M. Kim, 2019. Identify environmental impacts of nutrient solution cultivation and establishment of management plan. *Journal of Korean Society of Agricultural Engineers*, Agricultural Engineers Conference.
5. Cho, J. Y., 2017. Development of application technology for reuse of hydrophonic waste solution. *Korea Institute of Planning and Evaluation for Technology in Food, Agriculture, and Forestry* (IPET): 1-5 (in Korean).
6. Jang, Y. H., Y. H. Hwang, C. G. An, H. S. Yoon, J. Y. An, C. S. Im, and K. M. Son, 2012. Effects of non-drainage hydroponic culture on growth, yield, quality and root environments of Muskmelon (*Cucumis melo* K.). *Journal of Bio-Environment Control*, 21(4): 348-353 (in Korean). doi:10.12791/ksbec.2012.21.4.348.
7. Jeon, J. C., K. H. Kwon, S. H. Lee, J. W. Lee, H. G. Gwon, and K. S. Min, 2013. EMC and unit loads of pollutants generated from tomato cultivation during rainfall. *Journal*

*of Wetlands Research,* 15(4): 555-566 (in Korean). doi: 10.17663/jwr.2013.15.4.555.

8. Kim, D. S., D. Y. Kim, J. H. Hwang, and H. Y. Yun, 2014. Solid culture medium selection criteria for hydroponics farm households. *Journal of Korean Organic Agriculture*, 22(4): 841-853 (in Korean). doi:10.11625/kjoa.2014.22.4.841.
9. MINISTRY OF ENVIRONMENT (ME). 2020. Identify Environmental Impacts of Nutrient Solution Cultivation and Establishment of Management Plan, 80-85. (in Korean)
10. Lee, H. S., I. S. Hwang, J. I. Cheon, H. Y. Kwon, and S. M. Hong, 2019. Pesticide residual characteristics in strawberry, treated by drenching under hydroponics. *Journal of Korean Society for Applied Biological Chemistry*, 62(1): 11-17 (in Korean). doi:10.3839/jabc.2019.003.
11. Lee, S. Y., Y. C. Kim, 2019. Water treatment for closed hydroponic systems. *Journal of Korean Soc. Environ. Eng*., 41(9): 201-213 (in Korean). doi:10.4491/ksee.2019.41.9.501.
12. Statistics Korea (KOSIS) http://kosis.kr/statisticsList/statisticsListindex.do?menuId=M_01_01&vwcd=MT_ZTITLE&parmTabId=M_01_01 (accessed Jun. 2020).