Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 24, No. 2 pp. 334-342, 2023

https://doi.org/10.5762/KAIS.2023.24.2.334
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

시설원예 배액 배출량을 줄이기 위한 주요 인자 탐색에 관한 연구
-온도, 풍속, 일사량 중심으로-

장재경[1*], 이동관[1,2], 유영선[1], 박민정[1], 문종필[1], 황정수[1]
[1]국립농업과학원 농업공학부 에너지환경공학과, [2]SK하이닉스 선행환경보건

A study on exploration of major factors to reduce drainage emissions in facility horticulture
-Based on temperature, wind speed, and insolation-

Jae Kyung Jang[1*], Donggwan Lee[1,2], Young Sun Ryou[1],
Minjung Park[1], Jong Pil Moon[1], Jeongsu Hwang[1]
[1]Energy & Environmental Engineering Division, National Institute of Agricultural Sciences
[2]SK hynix SHE R&D

요 약 우리나라 원예시설은 대부분 비순환식 양액재배 방식으로 운용되고 있으며, 양액 급액량의 20~30%가 배액으로 버려지고 있다. 양액재배는 기후변화 대응 등 이유로 지속적으로 증가하고 있어, 배액 배출량도 동반 증가할 것으로 예측되고 있다. 따라서 온실 운용 시 사전적으로 배액 배출량을 감소시킬 방안을 알아보기 위하여, 원예시설 환경제어 인자인 온도, 풍속, 일사량 변화에 따른 배액 발생량과의 상관관계를 알아보았다. 이 결과, 온도와 풍속 변화에 따른 배액 배출량 변화 패턴은 일정하지 않아 상관관계를 찾을 수 없었으나, 일사량 변화에 따른 배액 배출량은 반비례 관계가 있는 것이 확인되었다. 또한 토마토 정식하고 수일 이내 배액 배출량과 하루 중 양액 공급 시간에 따라 양분 이용률 차이가 있는 것으로 나타났다. 따라서 급액 회차에 따라 양액 농도[EC (Electrical Conductivity) 값을 기준으로 설정]를 차별적으로 공급한다면 양분(비료) 사용량을 줄일 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 일사량 기반의 급액 공급 방식으로 운용하는 것이 사전적으로 배액 발생량을 제어할 수 있을 것으로 판단되었다.

Abstract The majority of horticultural facilities in Korea operate acyclic hydroponic farming systems, and 20~30% of the nutrient solutions supplied are discarded to drain. For reasons such as climate change-driven measures, hydroponic farm numbers have steadily increased, and thus, amounts of nutrient solutions discarded are also increasing. This study was conducted to investigate the relationship between nutrient waste to drain and changes in temperature, wind speed, and insolation in an effort to reduce waste drainage during greenhouse operation. No consistent pattern was observed between temperature and wind speed and waste drainage. However, waste drainage amounts were inversely related to the intensity of solar radiation. In addition, we found that most of the supplied nutrient solutions were discharged without being used during the first 5 days after planting tomatoes. Also, the study indicates that nutrient use efficiency depends on the daily duration of nutrient solution supply. The results of this study suggest that nutrient consumption could be reduced if electrical conductivity was supplied differentially according to the feeding rounds and that it would be more feasible to control the amount of waste drainage in advance if nutrient solution is supplied based on changes in insolation.

Keywords : Horticultural Facilities, Drainage Discharge, Temperature, Wind Speed, Insolation

본 논문은 농촌진흥청 연구사업(세부과제번호 : PJ014911012022)의 지원에 의해 이루어진 것임.
*Corresponding Author : Jae Kyung Jang(National Institute of Agricultural Sciences)
email: jkjang1052@korea.kr
Received December 7, 2022 Revised January 19, 2023
Accepted February 3, 2023 Published February 28, 2023

1. 서론

스마트팜은 기존의 온실 자동화 생산시설에 정보통신기술(ICT)을 융복합하여 원격 및 자동으로 작물 생육환경을 적정하게 유지 및 관리하여 생산성과 품질을 높일 수 있는 최신 원예시설을 말한다[1]. 이러한 스마트팜을 구성하는 기반 기술 가운데 하나가 수경 재배(양액재배) 기술이다[2]. 수경재배는 기존의 토양재배 방식이 아닌 무토양 상태에서 여러 종류의 불활성 지지체에 작물을 고정시키거나 또는 식물 뿌리를 작물이 필요로 하는 필수 원소를 포함하는 배양액(양액)에 직접 접촉시켜 재배하는 방식이다[3]. 수경재배는 초기 설치비가 많이 들고, 병해충이 발생할 경우, 빠르게 전염될 수 있다는 단점이 있다[4]. 그러나 기후 변화로 인한 외부 기상변화에도 비교적 영향을 덜 받으며, 복합환경제어로 최적화된 환경에서 재배하기 때문에 연중 생산이 가능하다는 이점이 있고, 작물의 생육단계에 맞는 영양분을 공급하기 때문에 생산성이 높다는 장점이 있다[5,6]. 이러한 장점으로 우리나라 수경재배 면적은 '04년 609ha에서 '11년 1,039.9ha, '18년 4,224ha로 급격히 증가였으며, 앞으로도 지속적으로 증가할 것으로 예측되고 있다[6-9]. 그런데 수경재배 증가는 폐양액 발생이 동반되기 때문에 농업 선진국인 네덜란드, 일본 등에서는 이미 순환식 수경재배를 정책적으로 도입하여 재이용하고 있다. 양액 배액율은 배지 내 염류의 집적 현상을 방지하기 위하여 급액량 대비 20~30%로 운용하는 농가가 많다[3,5,7]. 그런데 수경재배에 이용되는 양액에는 작물 생육에 필요한 다양한 이온(염류)을 다량 또는 미량 포함하고 있어, 작물이 이용하고 버려지는 배액내에도 유효한 영양염류를 다량 포함하고 있어 비순환식 수경재배 방식으로 운영시, 환경오염의 원인이됨은 물론 수자원와 함께 유효한 비료 성분을 낭비하게 되는 것이다[6,7]. 네덜란드의 경우, 순환식 수경재배 보급률은 95% 이상이며, 일본도 45% 이상 보급되어 있는 것으로 보고되었다[4,6]. 그러나 우리나라의 경우, 수경재배 면적은 2010년 기준 대략 세계 10위권 이내 수준인 데 반해 순환식 수경재배 보급률은 약 5% 미만의 낮은 수준으로 대부분의 농가는 비순환식 수경 재배 방식으로 운용되고 있다[3]. 황 등(2012)의 연구 결과에 의하면, 2011년 기준 연간 폐양액 2,079,800톤과 여기에 포함된 비료염 5,200톤이 버려지게 된다고 하였으며[6], 손 등(2019)은 1ha를 기준으로 폐양액 발생량은 1,867~3,428 ton/ha이었으며, 평균 2,597ton/ha이 배출되고 있다고 발표하였다[7]. 또한, 배액에는 T-N은 평균 333.62±148.74mg/L, T-P는 평균 60.49± 16.83mg/L으로 비료 성분인 N, P를 고농도로 포함하고 있다고 하였다[7]. 이외 이 등(2016)도 해마다 낭비되는 수자원이 1ha당 연간 2700톤, 질소 배출량도 ha당 400kg에 이른다고 하였다[10,11]. 최근에는 환경오염. 수자원 부족에 의한 인식이 바뀌면서 유효한 비료 성분을 포함하고 있는 폐양액을 재이용하는 순환식 수경 재배 도입 필요성이 높아지고 있다. 순환식 수경재배를 운용하는 방법은 배액을 적게 배출하는 사전관리와 발생된 배액을 재순환하는 사후관리로 나눌수 있다.

이 중 본 연구는 폐양액 발생량을 사전적으로 줄이는 방법을 모색하기 위하여, 시설원예 복합환경제어 인자인 온도, 풍속, 일사량과 양액 배액 발생량과의 상관관계를 알아보았다.

2. 실험재료 및 방법

2.1 테스트베드의 복합환경제어

본 연구는 내·외부 온도, 내부 습도, 일사량, 풍속 등 복합환경제어로 운용되는 유리온실에서 실시하였다(Fig. 1). 유리온실은 길이 32m, 폭 16m이고, 면적은 약 512 ㎡ 규모의 테스트베드용 온실이다. 온실에는 8개의 베드가 설치되어 있으며, 작물 재배 기간 동안 온도, 습도, 일사량, 풍속 등 제어 인자를 10분 단위로 수집하여 이 값들을 일 평균값으로 산출하여 이용하였다.

토마토 생육 특성에 따라 유리온실 내부온도는 천창, 측장, 스크린, 보온커튼을 작동하여 낮 시간대는 28℃, 밤 시간대는 20℃로 제어하였다.

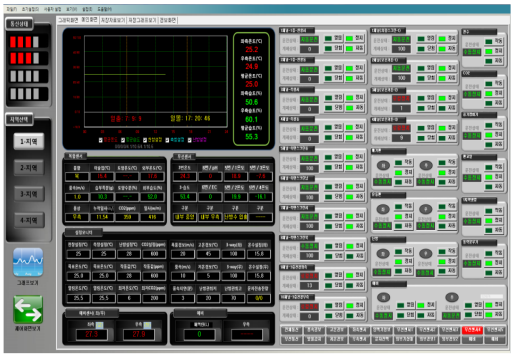


Fig. 1. Controlling the glass greenhouse internal environment with a complex environment control system.

재배는 9월 말 정식하여 12월 말까지 양액 배출량을 모니터링하였으며, 난방은 하지 않았다. 양액 공급 방법은 09:00부터 16:00까지 매시간 간격으로 관수하는 것을 기본으로 하고, 앞뒤로 추가하여 최대 10회까지 공급하였다. 양액 공급은 작물 생육단계 및 작물 상태에 따라 조절하여 공급하였다.

2.2 배액 배출량 측정

한 개의 베드(Lane) 당 코코피트 배지(5구) 18개씩 셋팅하고, 코코피트 배지 한 개에 4주씩 토마토를 정식하여 한 베드에 72주의 토마토묘를 정식하였다(Fig. 2). 각 베드 한쪽 끝에 배액 배출구가 있어 배출된 배액은 배출구를 통해 배액 저장조로 이송되어 배출되게 된다. 본 연구를 위해서 각 베드 배출구를 거쳐 배액 저장조로 유입되는 중간에 배액 수집 장치를 설치하여 급액할 때마다 배액 배출량은 측정하였다.

〈Early after tomato planting〉 〈30days passed〉 〈60days passed〉

Fig. 2. Growing tomatoes in a multi-span plastic green house.

2.3 토마토 농가의 양액 급액/배액 데이터 분석

복합환경제어로 토마토를 재배하는 농가(전북 완주 소재)에서 양액 급액/배액 관리 데이터를 수집, 한 작기 동안 배액 배출량 변화를 분석하였다. 데이터 수집 기간은 2019년 9월 정식 이후부터 2020년 5월까지 양액 급액량과 배액량 데이터를 이용하였다.

농가의 재배 면적은 2,871m^{2}이며, 재식밀도는 2.37주/m^{2}이었다. 급액량은 누진 일사량을 기준으로 관수량을 결정하여 하루를 3주기로 구분하여 관수하였으며, 3주기 구분은 1주기 09시 06분, 2주기 10시5 0분, 3주기 13시 00분 이후로 구분하였다. 누진 일사량값(J)을 조정하여 배액량을 조절하였으며, 양액 관수량은 1주기 120CC, 2, 3주기 80CC를 기준하여 가감하였다. 목표 배수율은 아래 Table 1과 같이 외기온도를 고려하여 시기별 목표 배수율(%)에 차이를 두고 운전하는 농가에서 실제로 농가 운용 과정에서 발생되는 배액량을 산출하였다.

2.4 분석

양액과 배액을 이용하여 양액 성분 17종의 성분 변화를 분석하여 이온별 변화를 알아보았다. 또한 배액에 균류 포함 정도를 알아보기 위하여 곰팡이 46종, 박테리아 10종을 대상으로 분석하였다. 성분 분석과 균류 분석은 외부 전문 분석 업체에 의뢰하여 분석하였다.

Table 1. The target drainage rate for each period considering the outside temperature from the tomato-cultivating farm.

Time	Target Drainage rate(%)	Temperature (℃)	Days Below Zero/ Days in Period
'19.9.30 -10.19	0	6~20	0day / 20days
10.20-11.16	40	(-)1~14	1day / 28days
11.17-12.7	35	(-)8~9	8days / 21days
12.8 -'20.1.15	20	(-)6~7	27days / 39days
1.16-2.4	20-25	(-)5~5	13days / 20days (minus 1-5℃)
2.5-2.16	25	(-)10~7	6days / 12days
2.17-5.14	30-35	(-)3~18	16days / 88days (minus 1-3℃)

3. 연구결과

3.1 온도에 따른 배액량 변화

온도 변화에 따라 배액 발생량 변화 양상이 상관관계가 있는지 알아보았다. 토마토 농가에서는 일사량 기반으로 급액량을 조절하였지만, 본 연구에서는 토마토 생육단계에 따라 급액량을 일정 시간 간격으로 공급하는

방법으로 운전하였다. 토마토를 정식하고 온실 환경 인자로 내·외부 온도, 습도를 10분 단위로 측정하여 일 평균값을 8월25일부터 12월23일까지 수집하여 확인하였다. 배액율(%)은 관수량(L/d) 대비 배액량 데이터를 이용하여 산출하여 비교하였다(Fig. 3).

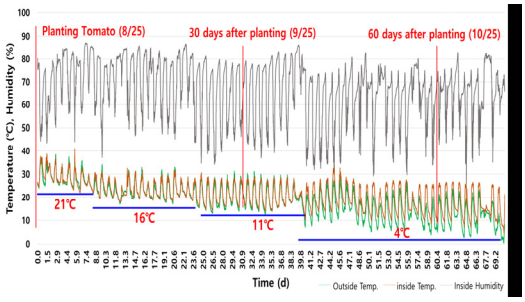


Fig. 3. Temperature and humidity environmental monitoring inside and outside glass greenhouse.

외부 온도 변화는 구간별 최저기온을 표시하여 나타냈다. 토마토 정식시점부터 9월3일까지 약 21℃, 9월3일~9월28일 구간은 약 16℃, 9월28일~10월5일 구간은 약 11℃, 10월5일~11월말 구간은 약 4℃를 유지하였으나 이후에는 대부분 영하로 기온이 떨어졌다. 내부기온은 외기온도가 영하 3도로 떨어지기 전까지는 환경제어로 15℃ 이상으로 유지되는 조건에서 실시하였다.

토마토를 정식하고 배액 발생량을 관찰하였다. 정식 후 약 5일간은 공급한 양액 대부분이 배액으로 배출되는 것이 확인되어 이 시기 작물은 양액을 거의 이용하지 않는 것으로 나타났다(Fig. 4). 양액 배액을 조사한 토마토 농가의 경우 뿌리활착을위해서 정식하고 수일 동안 양액을 공급하지 않고 운용하는 것을 고려하였을 때, 본 연구에서 정식하고 수일 동안 공급한 양액 대부분이 배액으로 배출되는 것과 관련이 있을 것으로 판단되었다. 즉, 정식한 초기에는 작물의 뿌리 활착이 되지 않은 상태로 작물 생육에 양액이 거의 이용되지 않는 것으로 보이며, 이 시기에는 환경제어가 되는 온실에서의 배액 배출량과 온도와의 상관관계는 찾기 어려웠다. 정식하고 수일 내에 양액 공급 여부가 작물생육에 미치는 영향에 대하여 검증이 필요하겠지만 정식 초기 양액 급액 제한 재배 방식을 채택할 수 있다면, 양액 이용량과 배액 배출량을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

또한 정식 이후 위의 시기가 경과한 시점에서도 내·외부 온도에 따른 배액 배출량 사이의 상관관계를 찾기 어려웠다. 배액 배출이 갑자기 증가(7, 17일차)하거나 감소(6일차)한 날의 경우에도 온도 변화의 특이 사항은 나타나지 않았다.

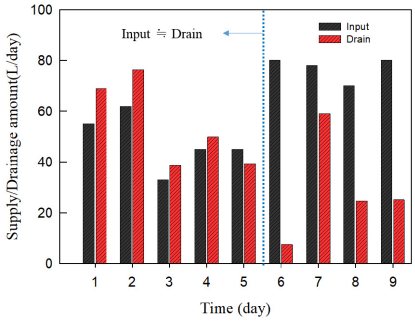


Fig. 4. Change in drainage discharge amount by daily nutrient solution supply.

또한 외기온도가 약 10℃ 정도 되는 날(8, 9일(A그룹)/14, 15일(B그룹)/18, 20일(C그룹))을 비교하여도 배액 배출과 온도와의 상관관계는 나타나지 않았다(Fig. 5).

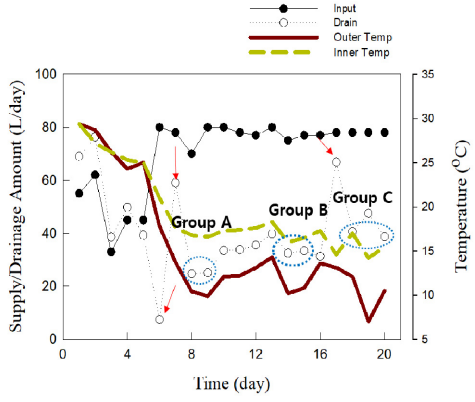


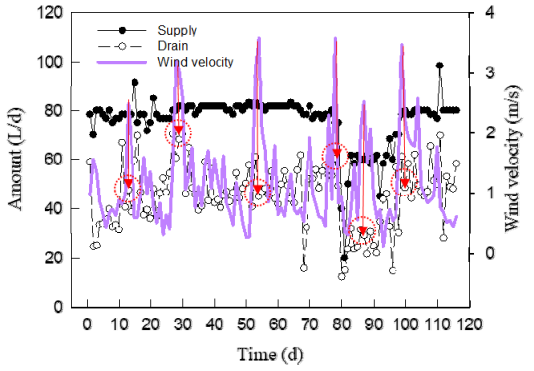
Fig. 5. Temperature changes inside and outside thte glass greenhouse in the early period after tomato planting.

따라서 온도를 이용하여 배액량을 예측하기는 용이하지 않은 것으로 판단되었다.

3.2 풍속에 따른 배액량 변화

풍속에 의해 배지에서의 증발작용과 배지의 수분이 작물 뿌리에 흡수되고, 식물체를 통하여 잎에서 공기 중으로 배출되는 증산작용에 의한 증발산량 증가로 배액 배출량이 감소할 것으로 판단되었다. 따라서 풍속에 따른 배액 발생량과의 상관관계가 있는지 알아보았다(Fig. 6).

이 실험은 토마토를 정식 후 120일 이내 기간에서 풍속에 따른 배액 배출량의 상관관계를 찾아보았다. 실험은 복합환경제어로 온실 내부 온도 조절을 위해 측창을 여는 기간에 실시하였다. 작물 재배 기간 동안 풍속 변화는 0.1~3.5 m/s의 변화를 보였다. Fig. 6에 풍속과 급액량과 배액량 변화를 나타낸 것과 같이, 풍속이 높은 날의 배액량 변화를 확인한 결과 차이가 크게 나타났다. 풍속이 낮은 날을 포함하여 풍속 변화에 따른 배액량 변화 사이에 상관관계를 찾기는 어려웠다. 따라서 풍속을 이용하여 배액량을 예측하기는 온도와 마찬가지로 용이하지 않은 것으로 판단되었다.



Fig, 6. Drainage change according to wind speed change.

3.3 일사량에 따른 배액량 변화

일사량 변화에 따라 배액 발생량 변화와의 상관관계가 있는지 알아보았다. 토마토를 정식한 후, 약 120일 동안 일사량 변화를 관찰한 결과, 일사량은 약 20W/m^2~180W/m^{2}로 일일 변화뿐 아니라 하루 중에도 일사량 변화가 큰 것으로 나타났다. Fig. 7에 양액을 시간에 따라 일정하게 공급하면서 배액 배출량을 측정한 결과를 나타냈다. 일사량(W/m^2)이 128.9, 146.9, 154.1, 169.1, 190.9일 때, 배액 비율(%) 각각 60.6 〉 51.8 〉 46.4 〉 43.1 〉 35.3의 순으로 일사량 변화에 따른 배액 배출 비율(%) 사이에 일정한 패턴을 보여주었다. 즉 일사량이 높으면 배액 배출량이 줄고, 일사량이 낮으면 배액 배출량이 증가하는 것을 확인할 수 있어 배액 배출량 변화 추이를 예측할 수 있었다. 이러한 결과로부터 배액 배출량을 최소화할 수 있도록 누적 일사량에 따라 작물에 최적화된 양액 급액량을 공급한다면 배액 발생량을 제어할 수 있을 것으로 판단되었다.

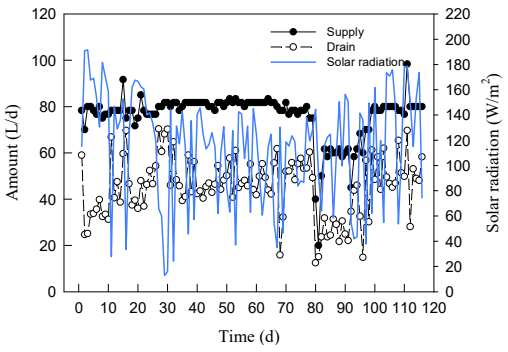


Fig. 7. Drainage change according to insolation.

3.3.1 토마토 재배 농가의 양액 급액/배액량 분석

토마토 농가에서 실제로 배액 배출량이 어느정도 되는지 알아보기 위하여, 농가에서 토마토 정식한 '19.10.1에서부터 '20.4.30일까지 7개월간 재배 과정에서 월간 급액량과 배액량 데이터를 집하여 발생량을 분석하였다.

토마토 재배 기간 동안 가장 많은 급액량과 배액량 발생은 4월로 이때, 급액량은 274.9L/m^{2}이었고, 배액량은 97.5L/m^{2}로 양액 대비 배액 발생 비율은 35.5%로 나타났다. 이와 반대로 가장 적은 급액량과 배액량이 발생되는 때는 1월로 배액 배출 비율은 11.2%로 나타났다(Table 2). 이때 급액량은 89.8L/m^{2}이었으며, 배액 10.1L/m^{2}로 양액 공급이 가장 높은 4월과 비교하여 3배 이상 차이가 있는 것으로 나타났다.

Table 2. Total monthly nutrient solution supply and drainage for the tomato-cultivating farm.

Classification	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb	Mar	Apr	Total
Amount of Supplied [1] (L/m^2)	124.6 (3366.2)	146.7 (3960.1)	104.3 (2817.2)	89.76 (2423.5)	151.9 (4101.8)	241.7 (6526.9)	274.9 (7421.4)	1,134.0 (30617.2)
Amount of drainage[2] (L/m^2)	28.8 (777.6)	37.1 (1002.2)	13.3 (359.1)	10.1 (271.4)	36.0 (972.1)	73.3 (1979.1)	97.5 (2632.5)	296.1 (7994.0)
Insolation (W/m^2)	1,476	1,025	846	787	1,216	1,760	2,312	-
Emission rate (%)	23.1	25.3	12.7	11.2	23.7	30.3	35.5	26.1

※ Supply and drainage amount calculation standard : one growbag
※ ( ) : Bed(including 27 growbag) supply and drainage volume

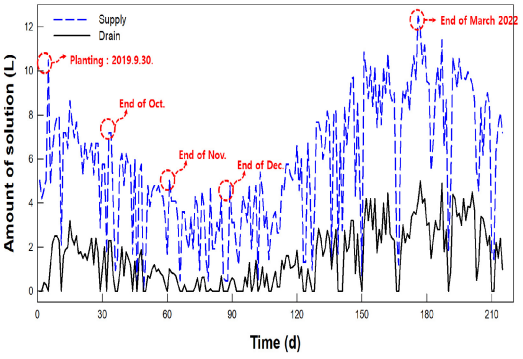


Fig. 8. Monitoring of the amount of nutrient solution supply and drainage of tomato-growing farm.

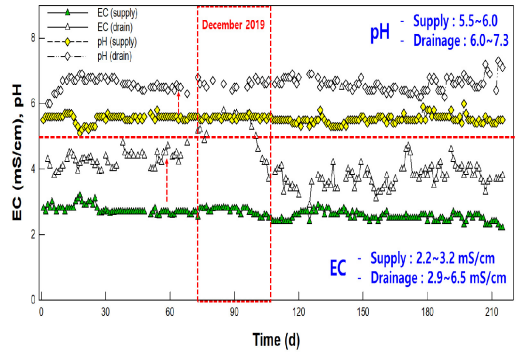


Fig. 9. Changes in pH and EC of nutrient solution supply and drainage.

이 시기 누적 일사량을 측정한 결과, 4월의 평균 누적 일사량은 2,312W/m^2으로 1월 평균 누적 일사량 787W/m^2 으로 2.9배 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 또한 작물의 양액 이용량은 일사량이 높을수록 더 많이 이용하는 것으로 나타났다(Fig. 8). pH와 EC는 모두 공급된 양액보다 배출되는 배액에서 증가하는 것으로 나타났는데, pH는 5.5~6.0에서 6.0~7.3으로, EC는 2.2~3.2mS/cm 에서 2.9~5.7mS/cm 으로 증가하였다(Fig. 9). 배액에서 EC 증가 현상은 배지 내 집적된 염성분에 의한 것으로 판단되었다.

토마토 재배 농가에서 발생되는 배액량은 급액량 대비 약 20% 수준으로 배액 관리를 하는 것으로 알려져 있는데, 실제 농가의 연평균 값은 23%로 유사한 수준이었지만, 월별 배액량은 적게는 11.2%에서 최대 35.5%까지 시기에 따라 배액 발생량 차이가 큰 것으로 나타났다. 손 등(2019)이 발표한 내용에 따르면, 시설원예 배출 배액의 수질 환경 평가 및 정화부하량을 산정한 결과에서 비닐온실 2곳(김제, 정읍)과 유리온실 2곳(완주, 홍성)의 데이터를 월별 배액 배출량과 배액 성분을 측정하였을 때, 재배 농가에 따라 월별 배액 배출량 차이가 있었다고 발표하였다.

비닐온실(김제 소재)의 경우에는 일 년 중 유사한 배액이 배출되도록 운영하고 있었으나, 정읍의 비닐온실은 8~12월, 유리온실(완주, 홍성)의 경우는 1~6월까지 배액량 배출이 많았다고 발표하였다[7]. 배액 배출량은 정읍(비닐온실)을 제외하면 년 중 187~225L/m^2 배출되어 농가의 일 년 단위 결과로부터 농가의 지역적 위치와 양액 관리에 따라 차이가 있는 것이 확인되었다.

단위 결과로부터 농가의 지역적 위치와 양액 관리에 따라 차이가 있는 것이 확인되었다. 또한 손 등(2019)의 결과에 의하면, 연간 배액 배출량은 1,848~2,994톤/년으로 상당히 많아 수자원과 영양염류 회수가 필요한 것으로 나타났다. 따라서 년 중 배액 발생량 폭이 큰 것에 대응이 가능한 순환식 수경재배 기술 적용이 필요한 것으로 판단되었다.

3.4 배액내 양액 성분 변화 분석

작물에 공급하는 양액과 작물이 이용하고 잉여 양분이 배출되는 배액을 샘플링하여 성분 변화를 알아보았다. 하루 총 10회 관수를 하였으며 이 중 9번째 관수 후 배액을 샘플링하여 성분 분석을 하였다(Table 3). 100mg/L 이상 공급하는 다량원소인 염소이온, 칼륨, 황산이온, 질산이온, 칼슘의 경우 11.8~36.9%만 이용되고 나머지는 배액으로 배출되는 것으로 나타났다. 그 외 마그네슘 이온은 12.6%, 총인은 54.6%가 이용되는 것으로 나타났다. 미량으로 공급하는 이온 중 망간과 구리만 약 70% 이상 이용되고 대부분의 이온 이용률은 50%도 되지 않았다.

또한 양액 급액 회차에 따라 양분 이용율에 차이가 있었는데, 급액 전반부인 오전 시간에는 양분 이용이 높았으나, 후반부(14:30)에는 양분 이용률이 감소하는 것으로 나타났으며, 특히, 염소이온, 칼륨, 마그네슘, 아연, 철, 황산이온, 칼슘, 질산이온은 이용율이 큰 차이로 감소하는 것이 확인되었다(Table 4). 이러한 양분 이용률 차이에 따라 양액 급액 회차(시간)에 따라 EC 맞춤형 양액을 공급한다면 양분(비료) 사용량을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

Table 3. Nutrient solution component change analysis in drainage

Items	Nutrient solution (mg/L)	Drainage (mg/L)	Utilization rate (%)
Cl^-	134.9	119.0	11.8
HCO_3^-	89.7	73.2	18.4
K	204.8	129.2	36.9
Mg	23.8	20.8	12.6
Zn	0.72	0.70	2.6
Cu	0.19	0.04	78.4
Fe	2.39	1.76	26.3
Mn	0.62	0.18	70.8
SO_4^{2-}	101.0	65.0	35.6
NH_4^+	66.5	73.9	-11.2[1)]
NO_3^-	924.4	715	22.7
B	1.09	0.63	42.4
Si	0.9	1.2	-37.9[1)]
Mo	0	0	0.0
Na	17.76	14.8	16.7
Ca	222.2	154.8	30.3
T-P	38.2	17.4	54.6

* 1) : minus means concentration increase.

3.5 배액 내 곰팡이와 박테리아 분석

양액 배액을 재이용하기 위해서는 병을 야기할 수 있는 곰팡이류 및 박테리아에 대한 안정성이 보장되어야 한다.

따라서 토마토 재배 과정에서 생길 수 있는 병으로 인한 병원균(곰팡이, 박테리아) 포함 여부를 확인하였다. 이를 위해 분석 전문업체에 의뢰하여 배액 내 포함된 병원균 여부를 확인하였는데. 검출되는 곰팡이류는 46종과 박테리아 10종을 대상으로 하였다. 분석하는 곰팡이류는 총46종으로 Proteobacteria(강) 수준에서 Ascomycota (28종), Oomycota(13종)에 속하는 것이 대부분이었으며, 이들은 주로 작물의 뿌리썩음병, 마름병, 시들음병을 유발하는 곰팡이류였다.

이 중 토마토와 관련한 곰팡이류는 *Colletotrichum coccodes, Pyrenochaeta lycopersici, Septoria lycopersici, Stemphyllium spp.*로 모두 Ascomycota(강)에 속하는 것이었다. 박테리아 10종은 Proteobacteria(강)에 속하는 미생물들로 뿌리흑병(뿌리 및 잎에 발병), 무름병, 녹농균(세균성 꽃 썩음병)들이었는데 곰팡이류와 박테리아 모두 너무 낮아 측정이 어려운 것으로 나타났다.

본 연구에서는 배액 내 곰팡이류나 박테리아에 의한 오염이 발견되지 않았으나 작물에 병증이 있을 경우에는 배액에도 병원균이 존재할 수 있고, 병원균 존재 할 경우, 병을 유발할 수 있어 배액을 재이용하기 위해서는 곰팡이 및 박테리아에 대한 안정성이 확보되어야 할 것으로 판단된다.

박테리아에 대한 안정성이 확보되어야 할 것으로 판단된다.

Table 4. Nutrient utilization rate according to feeding cycle.

Analysis Items	Drainage concentration over time (mg/L)				Crop utilization (%)		
	Nutrient solu.	09:30	11:00	14:30	09:30	11:00	14:30
Cl^-	134.9	34.00	75.00	119.00	**74.8**	**44.4**	**11.8**
HCO_3^-	89.7	109.80	61.00	73.20	-22.4(↑)	32.0	18.4
K	204.8	16.20	72.60	129.20	**92.1**	**64.5**	**36.9**
Mg	23.8	4.10	14.40	20.80	**82.8**	**39.5**	**12.6**
Zn	0.72	0.15	0.42	0.70	**79.1**	**41.6**	**2.6**
Cu	0.19	ND	0.05	0.04	ND	73.0	78.4
Fe	2.39	0.25	1.26	1.76	**89.5**	**47.2**	**26.3**
Mn	0.62	0.04	0.16	0.18	93.5	74.0	70.8
SO_4^{2-}	101.0	15.00	34.00	65.00	**85.1**	**66.3**	**35.6**
NH_4^+	66.5	5.50	31.40	73.90	91.7	52.8	증가
NO_3^-	924.4	80.00	400.00	715.00	**91.3**	**56.7**	**22.7**
B	1.09	0.14	0.38	0.63	87.2	65.3	42.4
Si	0.9	1.20	1.10	1.20	-37.9(↑)	-26.4(↑)	-37.9(↑)
Mo	0	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Na	17.76	7.60	10.80	14.80	57.2	39.2	16.7
Ca	222.2	29.60	108.20	154.80	**86.7**	**51.3**	**30.3**
T-P	38.2	5.40	15.38	17.37	85.9	59.8	54.6

4. 결론

이 연구는 배액 배출을 줄이기 위한 사전관리 방안으로 배액 발생에 미치는 영향 인자와 상관관계를 알아보고 발생량 예측이 가능한지를 알아보았다. 이를 위해 온도, 풍속, 일사량 변화에 따른 배액량과의 상관관계를 알아보았다. 이 결과 온도와 풍속 변화에 따른 배액량 변화에는 상관관계를 찾기 어려웠으나 일사량과 배액량은 반비례 관계가 있는 것으로 나타났다. 배액 내 양분 변화를 분석한 결과, 하루 중에 양액 공급때에 따라 배액 배출량 차이가 있었다. 급액 전반부에는 양액에 포함된 양분 이용이 높으나 후반부에는 양분 이용률이 감소하는 것으로 나타났다. 따라서 일사량과 양액 급액 회차(시간)을 이용하여 EC 맞춤형 양액 공급으로 양분 사용량을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 작물 생육에 영향을 미치지 않는 범위에서 양액 배액량을 최소화할 수 있는 적극적인 양액 관리 기술의 기초자료로 이용될 수 있을 것으로 기대한다.

References

[1] J. H. Min, "The optimal control technology on complex environment in horticulture based on artificial intelligence", J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng., pp.756-759, 2017.

[2] G. L. Choi, K. H. Yeo, H. C. Rhee, S. C. Lee, J-S. Lee, N. J. Kang, H. J. Kim, D. H. Jung, "Control of Mg and P ion concentration as a precondition to use N, K and Ca ion sensors in closed hydroponics", Kor J. Hort Sci. Technol, Vol.34, No.6, pp.871-877, 2016
DOI: https://doi.org/10.12972/kjhst.20160091

[3] S. Lee, Y. C. Kim, "Water treatment for closed hydr-oponic systems", *J. Korea Soc. Envrion. Eng.*, Vol.4, No.9, pp.501-513, 2019.
DOI: https://doi.org/10.4491/KSEE.2019.41.9.501

[4] G. I. Lee, C. S. Lee, S. H. Kim, T. G. Kang, S. J. Hwang, "Sterilization effects by processing method on pathogen", The Korean Soc. Agriculturalal Machinery Vol.12, No.1, pp. 302-305, 2007.

[5] J-H. Lim, C-S. Shin, Y-Y. Cho, " Environmental impact analysis of strawberry hydroponic culture for proper nutrient water supply", Journal of Information Technology and applied engineering, Vol.9, No. 2, pp.41-47, 2019.
DOI: https://doi.org/10.22733/jitae.2019.09.02.005

[6] Y-H. Hwang, C-G. An, Y-H. Chang, H-S. Yoon, J-U. An, G-M. Shon, C-W. Rho, B-R. Jeong, " Effect of zero drainage using drainage zero sensor on root zone environment, growth and yield in tomato rockwool culture", Vol.21, No.4, pp.398-403, 2012.

[7] J. Son, D. Choi, M. Kong, S. Yun, M. Park, "The water quality and purification load assessment of drain water of facility horticulture areas", *J. Environ. Sci. Interna*, Vol.28, No.12, pp.1199-1208, 2019.
DOI: https://doi.org/10.5322/JESI.2019.28.12.1199

[8] J-K. Son, T-G Kang, M-J. Park, "The water analysis and correlation evaluation of drainage water in tomato hydroponic cultivation", *Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Proceeding, pp.56-59, 2022.

[9] B. Park H. Cho, M. Kim, "Environmental impact of hydroponic nutrient wastewater, used hydroponic growing media, and crop wastes from acyclic hydroponic farming system", *J. the korea org. resour. recycl. assoc.*, Vol.29, No.1, pp.19-27, 2021.
DOI: https://doi.org/10.17137/korrae.2021.29.1.19

[10] M. H. Lee, S. E. Kim, S. D. Lee, J. E. Lee, H. S. Kim, S. K. Cho, S. Y. Sim, Y. S. Kim, "Development of drainage water disinfection system by electric shock in recirculating soilless cultrue", *Protected Horticulture and plant factory,* Vol.25, No.1, pp.49-56, 2016.
DOI: https://doi.org/10.12791/KSBEC.2016.25.1.49

[11] H. Rhee, "Necessity and challenge project of closed-system in the hydroponics", Kor. J. Hort. Sci. Technol., Vol.32 (supplII), pp.31-32, 2014.

장 재 경(Jae Kyung Jang) [정회원]

- 2006년 2월 : 이화여자대학교 환경공학과 (공학박사)
- 2008년 11월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 농업연구사

〈관심분야〉
수처리, 바이오에너지, 그린수소

이 동 관(Donggwan Lee) [정회원]

- 2019년 2월 : 전북대학교 환경공학과 (공학석사)
- 2009년 1월 ~ 2021년 2월 : 농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 전문연구원
- 2021년 2월 ~ 현재 : SK하이닉스 선행환경보건 근무

〈관심분야〉
수처리, 바이오에너지

문 종 필(Jong Pil Moon) [정회원]

- 2000년 2월 : 충남대학교 농공학과 (농학박사)
- 2007년 12월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 농업연구사

〈관심분야〉
지열 및 수열에너지, 태양광·열(PVT), 온실환경조절

유 영 선(Young Sun Ryou) [정회원]

- 1992년 8월 : 충북대학교 농공학과 (공학박사)
- 1997년 5월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 농업연구관

〈관심분야〉
지열에너지, 신재생에너지

황 정 수(Jeongsu Hwang) [정회원]

- 2017년 2월 : 경북대학교 생물산업기계공학과 (공학박사 수료)
- 2021년 7월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 농업연구사

〈관심분야〉
복합열원 히트펌프, 농업시설 에너지 환경

박 민 정(Minjung Park) [정회원]

- 2023년 2월 : 부산대학교 바이오산업기계공학과 (박사재학)
- 2014년 8월 ~ 현재 : 농촌진흥청 국립농업과학원 에너지환경공학과 농업연구사

〈관심분야〉
농업시설, 시설현대화, 시설원예